

Teze disertační práce

## **Využitelnost rýžové kaše při výrobě bezlepkového pečiva**

**Applicability of rice mash in the production of gluten-free bread**

**Autor: Ing. Monika Augustová, Ph.D.**

**Studijní program: P2901/Chemie a technologie potravin**

**Studijní obor: 2901V013/Technologie potravin**

**Školitel: doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**

**Oponenti: prof. Dr. Ing. Luděk Hřivna  
prof. Ing. Jozef Golian, Ph.D.**

Zlín, červen 2024

© Monika Augustová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.

Publikace byla vydána v roce 2024.

**Klíčová slova:** *bezlepkový, těsto, pečivo, kvalita, škrob, velikost pórů, reologie, textura*

**Key words:** *gluten-free, dough, bread, quality, starch, pore size, rheology, texture*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-255-6

## **ABSTRAKT**

Cílem disertační práce bylo posoudit vliv přídatku instantní rýžové kaše na kvalitu bezlepkového těsta a pečiva připraveného z hladké a polohrubé rýžové mouky. Instantní rýžová kaše byla zkoumána jako možnost zvýšení kvality bezlepkového těsta a pečiva. V praktické části byl sledován vliv přídatku vody v kombinaci s přídatkem instantní rýžové kaše. Při neměnném přídatku vody byl sledován vliv granulace mouky a současně vliv přídatku instantní rýžové kaše. U rýžových těst byly stanoveny reologické a termomechanické vlastnosti, kynutí a schopnost rýžových těst produkovat a zadržet kypřící plyn a byla změřena velikost pórů. U pečiva byl stanoven specifický objem, ztráty pečením, výtěžnost, texturní vlastnosti a bylo provedeno sensorické hodnocení. Texturní vlastnosti byly stanoveny u čerstvého a skladovaného pečiva. Vyšší přídatek vody prokazatelně zvýšil odolnost těst vůči intenzivnímu namáhání z obou granulací, snížil mazovatění a retrogradaci škrobu a umožnil těstům dosáhnout vyšší výšky. Přídatek instantní rýžové kaše zvýšil pórovitost rýžových těst. Zjištěno bylo také zvýšení výtěžnosti pečiva a snížení ztráty pečením, tvrdosti, žvýkatelnosti a prodloužení trvanlivosti rýžového pečiva.

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to enhance the effect of the addition of instant rice mash on the quality of gluten-free dough and bread made from fine and semi-coarse rice flour. Instant rice mash was investigated as a possibility to increase the quality of gluten-free dough and bread. In practical part, the effect of the addition of water in combination with the addition of instant rice mash was investigated. The effect of flour granulation and concurrently the effect of the addition of instant rice mash was investigated at constant water addition. The rheological and thermomechanical properties, leavening and the ability of rice dough to produce and retain leavening gas were determined and the pore size was measured. Specific volume, baking loss, yield, textural properties were determined for the bread and sensory evaluation was performed. The textural properties were measured for fresh and stored bread. Higher water addition significantly increases the resistance of doughs from both flour granulations to intense stress, decrease gelatinisation and retrogradation of starch and enable to reach a higher height. The addition of instant rice mash increased the porosity of rice dough. It was also found to increase the yield of bread and decrease baking loss, hardness and chewiness and prolonged the shelf life of rice bread.

# OBSAH

<b>1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>5</b>
1.1 Pšeničné a rýžové těsto a pečivo.....	5
1.2 Složení a vlastnosti pšeničného a rýžového těsta .....	6
1.3 Suroviny a výroba bezlepkového pečiva .....	8
1.4 Hydrokoloidy používané v bezlepkových produktech pro zajištění jejich kvality.....	10
1.5 Inovativní technologie výroby bezlepkového těsta a pečiva .....	12
1.6 Extruzní zpracování rýžové krupice .....	13
<b>2 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>16</b>
3.1 Použitý materiál .....	16
3.2 Metodika práce .....	16
3.3 Laboratorní postupy .....	17
3.3.1 Příprava těsta.....	17
3.3.2 Orientační zkouška schopnosti těst zadržet kypřící plyn .....	18
3.3.3 Reologické a termomechanické vlastnosti těsta.....	18
3.3.4 Schopnost těst tvořit a zadržet kypřící plyn zjišťována pomocí reofermentometru .....	19
3.3.5 Výroba bezlepkového pečiva .....	19
3.3.6 Texturní profilová analýza .....	20
3.3.7 Senzorické hodnocení .....	20
3.3.8 Statistické zpracování dat.....	20
<b>4 VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>21</b>
4.1 Orientační zkouška rýžových těst zadržet kypřící plyn .....	21
4.2 Vliv přídavku vodu na rýžová těsta z hladké a polohrubé mouky s 30 % přídavkem instantní rýžové kaše.....	24
4.3 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na kvalitu rýžového těsta a pečiva z hladké a polohrubé mouky s přídavkem 150 % vody .....	29
<b>5 PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....</b>	<b>40</b>
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
<b>7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>43</b>
<b>8 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>52</b>
<b>9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>54</b>
<b>10SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA.....</b>	<b>54</b>
<b>11CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>55</b>

# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Bezlepkové produkty tvoří přibližně jednu třetinu z celkových produktů dostupných na trhu a jsou vyhledávány nejen těmi, pro které jsou nezbytné, ale také těmi, kteří v bezlepkových produktech hledají nový směr stavování (Juhász et al., 2020; Serna-Saldivar & Perez Carrillo, 2019). Poptávka po kvalitnějších bezlepkových produktech stále zvyšuje (Bender a Schönlechner, 2020). Bezlepkové produkty se obecně vyznačují vysokou cenou a horšími senzoryckými a nutričními vlastnostmi (Barry-Ryan et al., 2021). Díky nutnosti vyššího přídatku vody do těsta mají bezlepková těsta velmi řídkou konzistenci, což podstatně snižuje jejich pružnost a soudržnost (Bender a Schönlechner, 2020). Na rozdíl od pšeničných těst ve struktuře bezlepkových těst chybí trojrozměrná síť a proto se výzkum v oblasti bezlepkového těsta a pečiva zaměřuje právě na nahrazení lepkové sítě. Náhrada lepku je vzhledem k jeho jedinečné funkci stále náročná (Bender a Schönlechner, 2020). V současnosti se k nahrazení bezlepkové sítě používají hydrokoloidy. Schopností vázat přidanou vodu do struktury těsta jsou schopny částečně nahradit lepek v bezlepkových produktech (Culetu et al., 2021). V poslední době se úspěšně uplatňují i technologické postupy pro zlepšení vlastností chleba a konzistence stability těsta (Bender a Schönlechner, 2020).

## 1.1 Pšeničné a rýžové těsto a pečivo

Pšeničné pečivo se díky přítomnosti lepku vyznačuje vyšším objemem, měkčí střídou a příznivými organoleptickými vlastnostmi. Bezlepkové pečivo, které je podle nařízení komise (EU) č. 828/2014 definováno jako potravina, jež je podávána konečnému spotřebiteli obsahující méně než 20 mg/kg lepku, se od klasického pšeničného pečiva velmi liší (Moghaddam et al., 2020; Serna-Saldivar & Perez Carrillo, 2019). V porovnání s pšeničnými těsty jsou bezlepková těsta méně soudržná a elastická. Absence lepku má negativní vliv na reologii bezlepkových těst, výrobní proces a kvalitu finálních produktů. Nepřítomnost lepku má za následek mnoho kvalitativních vad, jako je nízký objem, tvrdá střída pečiva, rozpadající se textura, nedostatečná pružnost, soudržnost a elasticita, nevýrazná barva, nepříznivá chuť a krátká doba trvanlivosti (Haghighat-Kharazi et al., 2019; Ronda et al., 2023).

## 1.2 Složení a vlastnosti pšeničného a rýžového těsta

Při výrobě pečiva hrají zásadní roli bílkoviny, protože se podílejí na tvorbě jeho struktury (Della Valle et al., 2020; Bender a Schönlechner, 2020). Pšeničné zrnko obsahuje přibližně 7 – 18 % bílkovin, přičemž 85 % z celkového počtu bílkovin tvoří lepkové bílkoviny (Wongsa a Rattanapanone, 2023; Kumari et al. 2023). V pšeničném zrnku lze nalézt čtyři typy proteinů: albuminy, globuliny, gliadiny a gluteniny (Damodaran, 2017). Vlastnosti pšeničných těst ovlivňují především gliadiny a gluteniny, které jsou zodpovědné za vynikající vlastnosti pšeničného těsta. Gliadin zajišťuje tažnost pšeničných těst, zatímco glutenin přispívá k pružnosti (Damodaran, 2017; Haghghat-Kharazi et al., 2019; Bock, 2015). Po přidání vody do těsta jsou gliadiny, gluteniny a poškozené škrobové granule hydratovány a vytváří se tak viskoelastická lepková síť v těstě, která je klíčová pro získání objemu a požadované textury pečiva (Cauvain, 2019; Greer, 1959; Damodaran, 2017; Moghaddam et al., 2020). Vytvořená trojrozměrná lepková síť vytváří v těstě dlouhá vlákna, která zajišťují těstu pružnost a pevnost a jsou tedy schopna zachytit kypřící plyn v těstě během fermentace (Davidson, 2019; Bock, 2015; Damodaran, 2017). Pšeničný lepek je protein-lipid sacharidový komplex (Oszvald et al., 2016). V suchém stavu má lepek strukturu  $\beta$ -listu. Po absorpci vody se struktura  $\beta$ -listu transformuje na strukturu  $\beta$ -ohyb. V gluteninovém polypeptidu se vytváří po sobě jdoucí  $\beta$ -závity, které vytváří strukturu  $\beta$ -spirálového typu. Vytvořený proteinový komplex je spojen van der Waalovými silami, vodíkovými a disulfidovými vazbami. Vytvořená spirálová struktura lepku se chová, jako roztažitelná pružina, což je považováno za jeden z prvků odpovědných za viskoelastické vlastnosti těsta (Damodaran, 2017; Preichardt a Gularte, 2013).

Bezlepková těsta postrádají trojrozměrnou souvislou proteinovou síť, což podstatně oslabuje jejich strukturu a snižuje schopnost bezlepkových těst zadržet kypřící plyn (Ronda et al., 2023; Ziobro et al., 2016). Rýžové zrnko obsahuje přibližně 6 – 15 % bílkovin (Kumari et al., 2023). Tyto bílkoviny však nemají stejné vlastnosti jako pšeničný lepek, složením jsou podobné spíše bílkovinám luštěnin než bílkovinám pšenice (Oszvald et al., 2016). Rýžové zrnko obsahuje čtyři typy proteinů, a to albuminy (30 – 45 kg/mol), globuliny (20 – 33 kg/mol), gluteliny (10 – 66 kg/mol) a prolaminy (10 – 53 kg/mol). Rýžový glutelin se dělí na dvě podjednotky:  $\alpha$  neboli kyselý (30 – 40 kg/mol) a  $\beta$  neboli bazický (17 – 23 kg/mol) (Dupont et al., 2020; Oszvald et al., 2016; Yang, 2023). Díky nízké molekulové hmotnosti a samozesítení není rýžový

protein schopný vytvořit film (Jayaprakash et al., 2022). Zatímco struktura pšeničného těsta je tvořena bílkovinou, tak u rýžového těsta se předpokládá, že struktura je tvořena arabinoxylany, které vytváří v těstě gel. Mezi vytvořenými arabinoxylanovými řetězci se vytvářejí vodíkové vazby, díky kterým je struktura těsta pevnější. Arabinoxylanové řetězce jsou však krátké a nestabilní, a proto během hnětení dochází k jejich přerušení (Izydorczyk a Biliaderis, 1995; Xiao et al., 2024). Vytvořený gel je zpevněn vytvořením kovalentních vazeb mezi zbytky kyseliny ferulové, která se vyskytuje na sousedících arabinoxylanových řetězcích (Xiao et al., 2021).

Rýžové proteiny obsahují aminokyseliny jako je threonin, leucin, fenylalanin a sirné aminokyseliny, methionin a cystein (Jayaprakash et al., 2022). Spojením sulfhydrylových skupin dvou různých cysteinových zbytků disulfidovou vazbou mezi podjednotkami rýžového glutelinu, vede k tvorbě velkých molekulárních komplexů a ke snížení rozpustnosti glutelinu ve vodě. Kromě toho rýžový glutelin obsahuje přibližně 38 % hydrofobních aminokyselinových zbytků, které mohou zapříčinit hydrofobní interakce mezi aminokyselinovými zbytky a vést k vytvoření stabilní sítě mezi podjednotkami, což omezuje vstup molekul vody a tím snižuje rozpustnost glutelinu ve vodě. Právě díky hydrofilní povaze glutelinu, nejsou rýžové bílkoviny schopné vytvořit viskoelastickou síť (Yang, 2023). Předpokládá se, že kromě vodíkové a disulfidové vazby může za omezenou rozpustnost rýžových polymerních glutelinových frakcí částečně odpovídat také rozsáhlá agregace a glykosylace (Oszvald et al., 2016). Ve srovnání s pšenicí jsou znalosti o funkčních vlastnostech rýžových bílkovin spíše omezené (Oszvald et al., 2016). Bezlepkové pečivo je vyráběno ze směsí škrobů. Kvalita pečiva je tedy ovlivněna zejména obsahem a vlastnostmi polysacharidů, které zvýšením viskozity, flokulace a koalescence snižují pěnovou stabilitu těsta, zabraňují nepříznivým vlivům na vodnou fázi těsta a tím na stabilitu kapalného filmu obklopujícího plynové bubliny (Bender a Schönlechner, 2020; Burešová et al., 2014). Je známo, že přídavek vody v bezlepkových těstech významně ovlivňuje kvalitu konečného produktu. Aby škrob a přísady bohaté na škrob během pečení v dostatečném rozsahu mazovatěly a aby se zvýšila viskozita je nezbytné přidání vyššího množství vody (Ronda et al., 2017; Bender a Schönlechner, 2020; Ronda et al., 2023). Avšak vyšší množství vody zvyšuje tekutost rýžových těst, což ztěžuje manipulaci a přispívá k nízkým objemům bochníků chleba (Bender a Schönlechner, 2020). K určení optimálního přídatku vody může být využita metoda ručního míchání či jiné metody

založené na zkušenostech nebo na výsledcích předchozích experimentů (Ronda et al., 2017).

### 1.3 Suroviny a výroba bezlepkového pečiva

Pro výrobu bezlepkového pečiva se používají bezlepkové mouky a škroby. Trh nabízí celou řadu alternativ, pro nahrazení mouk obsahujících lepek. Nejčastěji se používá rýžová a kukuřičná mouka, ale používá se také mouka z teffu, čiroku, prosa nebo z pseudocereálií do kterých řadíme mouky vyrobené z quinoj, amarantu nebo pohanky (Šmídová a Rysová, 2022; Park a Kim, 2023; Arendt a Dal Bello, 2008). Mezi další suroviny patří různé škroby (rýžový, bramborový a kukuřičný), inulin, a nezbytnou součástí receptur je přídavek hydrokoloidů (Wang et al., 2017; Elgeti et al., 2015).

Rýžová mouka je dostupná jako mouka bílá (hladká, polohrubá, lepivá a další) nebo celozrnná. V rýžových těstech se množství rýžové mouky (vztaženo na celkový obsah mouk) pohybuje okolo 10 %. Pro zajištění vyššího specifického objemu, barvy střídy a kůrky pečiva se do těst přidávají hydrokoloidy jako je karboxymethylcelulóza nebo hydroxypropylmethylcelulóza. U kukuřičné mouky se k nahrazení bezlepkové sítě nejčastěji používá xanthan, guarová guma nebo tragant. Hydrokoloidy se používají nejen pro nahrazení lepkové sítě ale také pro prodloužení trvanlivosti pečiva (Arendt a Dal Bello, 2008, Wang et al., 2017). Čirokové zrno je tvořeno převážně škrobem, a proto mouka z něj vyrobená je hojně používána pro výrobu bezlepkového pečiva. Teffová zrna mají vysokou nutriční hodnotu. V porovnání s ostatními obilovinami jsou dobrým zdrojem esenciálních aminokyselin, vápníku, draslíku, železa a vlákniny. Přidáním pohanky, amarantu a quinoj se může zvýšit nutriční hodnota bezlepkových produktů. Jsou dobrým zdrojem vlákniny a železa. Navíc bílkoviny pohanky se podobají pšeničnému lepku. Bylo zjištěno, že přidáním 10 % amarantové mouky je možné zvýšit obsah bílkovin a vlákniny bezlepkových produktů. Quinoa obsahuje vyšší obsah lysinu a methioninu, a je výborným zdrojem energie a živin. Inulin je nestravitelný fruktooligosacharid, který se do potravin přidává buď jako náhražka makroživin, nebo jako doplněk přidávaný do potravin především pro své probiotické vlastnosti (Arendt a Dal Bello, 2008).

Pro nahrazení lepkové sítě se do bezlepkových produktů přidávají i různé bílkoviny, které ovlivňují reologické vlastnosti a schopnost těst vázat vodu.



Bílkoviny interagují se škrobem a lipidy a přispívají tak k vyšší stabilitě těsta a lepší struktuře konečného produktu. Mléčné bílkoviny mají schopnost bobtnat, tvořit sítě a mají funkční vlastnosti podobné lepku. Používají se pro zlepšení textury, chuti a prodloužení trvanlivosti bezlepkového pečiva. V kombinaci s emulgátory zvyšují absorpci vody a tím zlepšují manipulační vlastnosti bezlepkových těst. Proteiny mohou být rostlinného původu (luštěniny, sója, bezlepkové obiloviny, slunečnice, brambory), živočišného původu (syrovátka, vejce, kasein) nebo na bázi mikroorganismů, mořských řas a hmyzu. Sójové a vaječné bílkoviny jsou alternativními zdroji používaných při pečení. Vaječné proteiny tvoří soudržné viskoelastické filmy, které jsou nezbytné pro vytvoření stabilní pěny. V nízkých koncentracích jsou vaječné bílkoviny schopny propojit škrobová zrna. Naopak ve vysokých koncentracích zvyšují schopnost bezlepkových těst zadržet kypřící plyn během kynutí (Arendt a Dal Bello, 2008, Šmídová a Rysová, 2022). Instantní rýžová kaše je schopna navázat vysoké množství vody a to již za studena. Během hnětení s vodou se vytváří gel, u kterého se dá předpokládat, že by mohl částečně nahradit lepek v bezlepkových produktech. Očekává se, že přídavek instantní rýžové kaše zlepší reologické a texturní vlastnosti bezlepkového pečiva. Struktura bezlepkových těst je tvořena arabinoxylany. Ty však mají krátké řetězce spojeny vodíkovou vazbou, které jsou velmi nestabilní, a tudíž nejsou schopny zajistit požadovanou kvalitu bezlepkového pečiva.

Bezlepková těsta jsou složitý polotekutý systém, obsahující zejména polysacharidy, bílkoviny a další přídatné látky, zajišťující vyšší viskozitu a stabilitu. Bezlepková těsta obsahují více vody než těsta pšeničná. Přídavek vody závisí na použité granulaci mouky a na absorpci použitých surovin. Kvalita bezlepkových těst je ovlivněna jejich konzistencí, proto zjistit optimální přídavek vody je klíčovým parametrem při výrobě. Vyšší přídavek vody je důležitý zejména, pokud součástí receptury je přísada s vyšší absorpční schopností (jako je instantní rýžová kaše, před-želatinovaný škrob, extrudovaná mouka a další) (Šmídová a Rysová, 2022; Cappa et al., 2016).

Škrob napomáhá vytvářet strukturu a podílí se na barvě konečného produktu, přičemž v těstě funguje také jako zahušťující a stabilizační činidlo (Šmídová a Rysová, 2022). Kromě toho, že se bezlepkové produkty vyrábí z různých druhů mouk, je nutný i přídavek dalších přísad, které zajišťují požadovaný objem, měkkost střídy a trvanlivost (Park a Kim, 2023). Často používanou složkou při výrobě bezlepkových produktů jsou hydrokoloidy, které zvyšují viskozitu a

elasticitu těsta, zlepšují kynutí a schopnost těst zadržet kypřícího plyn. Správným výběrem hydrokoloidu a množstvím vody může být dosaženo těsto podobné pšeničnému. Pro získání kvalitního chleba je potřeba přidat vysoké množství vody a to až 150 % (Culetu et al., 2021). Bezlepková těsta se hnětou při určitých otáčkách po určitý čas, avšak doba hnětení je kratší než u těst pšeničných. Délka a rychlost hnětení je při výrobě bezlepkového pečiva velmi důležitá (Šmídová a Rysová, 2022; Arendt a Dall Bello, 2008). Podle Gómez et al., 2012, delší hnětení těsta, vede k dosažení požadované výšky v kratším čase, ale po dosažení požadovaného objemu dochází k rychlejšímu rozpadu struktury než u těsta hněteného kratší dobu. Po hnětení jsou těsta uloženy do požadované formy (Arendt et al., 2008).

Vysoký přídavek vody sice snižuje konzistenci bezlepkových těst, a proto se po hnětení těsta rozváží do forem, ve kterých se následně pečou. Výška těst je závislá na schopnosti těst produkovat a zadržet kypřící plyn. Během hnětení jsou do těsta zabudovány vzduchové póry, které jsou během kynutí rozpínány vytvořeným kypřícím plynem produkovaný kvasinkami. Doba kynutí bezlepkových těst je kratší v porovnání s pšeničnými těsty (Arendt a Dal Bello, 2008; Cappa et al., 2016; Culetu et al., 2021). Při pečení dochází k mazovatění škrobových granulí a denuraci bílkovin (Šmídová a Rysová, 2022). Pečení bezlepkového pečiva probíhá kratší dobu než u pšeničného pečiva (Wang et al., 2017). Vlivem zvýšené teploty při pečení jsou škrobová zrna zahřívána a bobtnají a se zvyšující se teplotou ztrácejí soudržnost. S narůstající teplotou dochází k rozvolnění řetězců a ze suspenze se vytvoří viskózní roztok. Během chlazení se viskozita těsta zvyšuje, přičemž mezi molekulami se vytvářejí nové vazby a vzniká gel a vytváří se struktura konečného produktu. Po upečení se výrobek chladí a balí (Šmídová a Rysová, 2022; Wang et al., 2017).

#### **1.4 Hydrokoloidy používané v bezlepkových produktech pro zajištění jejich kvality**

Hydrokoloidy jsou jednou z nejdůležitějších složek při pečení bezlepkových produktů, protože zlepšují strukturu, objem, texturu, chuť a celkovou kvalitu finálních produktů (Bender a Schönlechner, 2020; Culetu et al., 2021). Klíčovou vlastností hydrokoloidů je schopnost zahušťovat a zvyšovat viskozitu (Pirsa a Hafezi et al., 2023). Jsou používány zejména pro jejich schopnost vázat vodu a tvořit gel. Vytvořený gel ovlivňuje viskoelastické vlastnosti, zvyšuje elasticitu stěn plynových buněk během kynutí, čímž zabraňuje uvolnění

kyprícího plynu, čímž se zvyšuje schopnost těst zadržet kypřící plyn. Hydrokoloidy stabilizují strukturu střídy, zvyšují objem a soudržnost pečiva. Navázáním vody zabraňují rychlé retrogradaci škrobu a prodlužují trvanlivost bezlepkových výrobků. Vzhledem k vyšší vaznosti vody obsahují receptury s přidavkem hydrokoloidů vyšší přidavek vody (Šmídová a Rysová, 2022; Gao et al., 2016; Culetu et al., 2021; Bender a Schönlechner, 2020). Jedná se většinou o polysacharidy, tvořené dlouhými řetězci s hydrofilními skupinami a vysokou molekulovou hmotností. Hydrokoloidy s lineárními polysacharidovými molekulami jsou viskóznější než vysoce rozvětvené molekuly se stejnou molekulovou hmotností (Culetu et al., 2021; Pirsá a Hafezi et al., 2023). Vlastnosti těsta ovlivňuje nejen množství a typ použitého hydrokoloidu nebo výrobní postup těsta, ale také interakce s jinými složkami potravin, včetně fyzikálních faktorů (např. teplota nebo pH) (Bender a Schönlechner, 2020). U některých hydrokoloidů může dojít v závislosti na rostoucí nebo klesající teplotě k přeměně z pevné látky na gel (Pirsá a Hafezi et al., 2023).

Mezi hlavní faktory, které ovlivňují kvalitu pečiva, patří náboj a molekulová hmotnost hydrokoloidů. Polární náboj má vliv na afinitu k vodě. Záporně nabitě hydrokoloidy jsou náchylnější k vytváření intermolekulárních vodíkových vazeb s vodou, zatímco nenabitě hydrokoloidy mají intramolekulární vodíkové vazby, které snižují interakce s vodou. Hydrokoloidy s vyšší molekulovou hmotností mají vyšší schopnost vázat vodu (Culetu et al., 2021). V mnoha případech nemohou jednotlivé hydrokoloidy zajistit požadované vlastnosti, a proto se používají jejich kombinace. Interakce zásadně ovlivňují strukturu, stabilitu, funkční vlastnosti a konzistenci konečných produktů. Prostřednictvím kovalentních vazeb dochází k interakci hydrokoloidů s proteiny, polysacharidy a škrobem (Gao et al., 2016).

Hydrokoloidy mohou být rostlinného původu (celulóza, pektin, škrob nebo různé gummy), živočišného původu (želatina, kasein, vaječný bílek, sója bílkoviny), získané z řas (agar, karagenan, alginát), mikrobiálního původu (xanthan nebo dextran), modifikované a polosyntetické (methylcelulóza, ethylcelulóza, karboxymethylcelulóza, propylglykolalginát, modifikovaný škrob) (Pirsá a Hafezi et al., 2023). Mezi nejpoužívanější hydrokoloidy patří hydroxypropylmethylcelulóza, xanthanová nebo guarová guma, karagenany a želatina (Culetu et al., 2021). Pro výrobu bezlepkového chleba se používá guma guar, guma ze svatojánského chleba, arabská guma, guma tara, karob, guma

konjac, beta-glukany, pentozany, arabinoxylany, methylcelulóza, karboxymethylcelulóza, hydroxypropylmethylelulóza, xanthan, dextrin, agar, karagenany (Gao et al., 2016). Xanthan zvyšuje stabilitu těsta, zvyšuje absorpci vody a zachovává gel a xanthanová guma je důležitá zejména při přípravě těsta (Pirsa a Hafezi, 2023). Existují ale i studie, které sledovaly vliv přidavku mastichové gummy, karboxymethylcelulózy, kaseinátu vápenatého nebo sodného. I když přidavek mastichové gummy zvýšil viskoelasticitu těst, tak vliv na kvalitu pečiva nebyl příliš velký. Přídavek karboxymethylcelulózy zlepšil kvalitu střídy, přičemž přidavek kaseinátu sodného a vápenatého zvýšil pórovitost pečiva (Burešová et al., 2016; Burešová et al., 2017).

## **1.5 Inovativní technologie výroby bezlepkového těsta a pečiva**

Stále více spotřebitelů vyhledává produkty bez přidavku přídatných látek. Bezlepkové produkty nejsou výjimkou (Bender a Schönlechner, 2020). Existují studie zabývající se studiem disperzního míchání, za účelem provzdušnění. Bezlepková těsta jsou vystavena vysokému smykovému napětí a tedy i intenzivnímu namáhání, čímž dochází k rozrušení větších bublin na menší a vytváří se tak pórovitá struktura těst. Pro posílení struktury těst během provzdušnění byl použit ultrazvuk, který narušuje strukturu vytvořených vzduchových pórů a napomáhá vytvářet mikrobublinky v provzdušněné struktuře. Navíc akustické kavitace vyvolané ultrazvukem způsobují denaturaci bílkovin, které se spojují a vytvářejí stabilizační film kolem bublinek plynu. Bubliny tak získávají hustý pevný povrch, což vede k lepšímu provzdušnění a struktuře daného těsta (Naqash et al., 2017). Bylo zjištěno, že kvalitu bezlepkových produktů ovlivňují vedlejší produkty bakterií mléčného kvašení během kynutí, mezi něž patří těkavé a antimikrobiální sloučeniny, kyselina mléčná a exopolysacharidy. Tyto vedlejší produkty ovlivňují hlavní složky vytvářející strukturu, jako je škrob a arabinoxylany. Zvyšují rozpustnost bílkovin, což přispívá k měkčí struktuře střídy pečiva (Bender a Schönlechner, 2020).

Bylo zjištěno, že vysoký tlak podporuje zesílení bílkovin, což prokazatelně zvyšuje viskoelastické vlastnosti těst vyrobených z pohankové, rýžové a teffové mouky. Dále bylo zjištěno, že vysokým tlakem může být zvýšená elasticita ovesného těsta před-želatinací škrobu. Vyšší elasticita těsta může přispět ke zvýšení schopnosti bezlepkových těst zadržet kypřící plyn, zvýšení objemu a lepší textuře (Naqash et al., 2017). Bylo zjištěno, že tlak 200, 400 a 600 MPa po dobu 10-ti minut způsobuje změny v mikrostruktuře těsta, vyvolává mazovatění škrobu

a zvyšuje viskoelastické vlastnosti pohankového, rýžového a teffového těsta (Papageorgiou a Skendi, 2015). Volbou ohřevu může být ovlivněna chuť, barva, tvorba střídy a kůrky pečiva. Mezi neobvyklé způsoby pečení se řadí mikrovlnný, infračervený, tryskový ohřev nebo jejich kombinace. Pečivo upečené v mikrovlnné troubě má obvykle nižší objem, gumovitou strukturu, vyšší tvrdost střídy a rychleji stárne. Infračervené záření pozitivně ovlivňuje zejména sensorické vlastnosti pečiva. Avšak infračervené záření špatně proniká do struktury, což stěžuje jeho použití jako samostatné metody pečení. Tryskové pečení je speciální typ nuceného konvenčního ohřevu, kdy horký vzduch je nucen narážet na povrch pečiva, což vede k velmi vysokému a rovnoměrnému přenosu tepla. Nevýhodou je tvorba silné kůrky a vyšší spotřeba energie. Kombinace ohřevů je mnohem přijatelnější technika ohřevu, která snižuje náklady, zvyšuje energetickou účinnost a zlepšuje kvalitu pečiva (Bender a Schönlechner, 2020).

Mražené a částečně upečené pečivo představuje slibnou alternativu k běžné výrobě bezlepkového pečiva. Výhodou je nejen to, že spotřebitelé mohou mít denně čerstvé pečivo, ale současně může být vyřešen i problém s jeho rychlým stárnutím, protože si každý může upéct podle potřeby, kolik sní. Pečivo z mraženého těsta má po upečení menší specifický objem v důsledku poničení kvasinek během mražení a odlišnou strukturu od klasického pečiva. Částečně upečený chléb je polotovar se správnou strukturou střídy a minimálním zabarvením kůrky. Proces se skládá ze dvou fází: počáteční fáze pečení, dokud není struktura chleba fixována, následuje skladování, a druhá fáze pečení k vytvoření vhodné chuti a barvy kůrky (Wang et al., 2017; Naqash et al., 2017).

## **1.6 Extruzní zpracování rýžové krupice**

Základní surovinou pro výrobu instantní rýžové kaše je rýžová krupice. Rýžová krupice se obvykle zpracovává se dvoušnekovým extrudérem (Zambrano et al. 2022; Kazemzadeh, 2001). Po nadávkování je rýžová krupice hydratována a přidaná voda je absorbována škrobovými granulemi, které začnou bobtnat. Zvýšená teplota uvnitř bubny extrudéru zvýší teplotu materiálu a vytváří se tak viskózní plastifikovaná hmota. Ve hmotě se vytváří bubliny, ve kterých se hromadí přehřátá vodní pára. Vlivem vysoké teploty, tlaku a mechanickému namáhání je hmota v extrudéru přeměněna na tekutou taveninu. Při prostupu maticí extrudéru dojde k náhlému poklesu tlaku a bubliny vyplněné přehřátou vodní párou expandují. Vodní pára se odpaří, což způsobí rychlé zvýšení viskozity a vytvoří se tak pórovitá struktura instantní rýžové

kaše, která vystupuje ve formě pelet (Fellows, 2022; Zambrano et al., 2022). Po extruzním zpracování se instantní rýžová kaše suší a vločkuje. Následně se rozemele na menší částice a balí se k prodeji konečnému spotřebiteli (Kazemzadeh, 2001; Honců et al., 2016).

Působením, teploty, tlaku a mechanického namáhání dochází k ovlivnění škrobových granulí a proteinů (Cauvain, 2019). Při vyšší teplotě a nižší vlhkosti za normálních podmínek škrobové granule nemazovají (Ganjyal, 2020). Otáčením šneku vlivem působení mechanických sil dochází ke zvyšování teploty a narušení struktury škrobových granulí, které snáze absorbují vodu, což podstatně zvyšuje mazovatění škrobu (Ganjyal, 2020). Smykové síly a prudké změny tlaku narušují krystalickou strukturu škrobových granulí a tím zvyšují jejich absorpční schopnost a ještě více podporují mazovatění (Rossel et al., 2021; Ganjyal, 2020). Působením smykových sil a vyšší teploty dochází k vyluhování amyulózy, což vede k nabobtnání škrobových granulí a zvýšení viskozity. Zvyšující se teplota způsobuje přerušování vodíkových vazeb mezi polymerními řetězci. Vytvoří se disperze amyulózy a amylopektinu a fragmenty škrobových granulí, což způsobuje snížení viskozity pasty (Ganjyal, 2020; Horstmann et al., 2017). Díky těmto změnám dochází k přeměně pastovité hmoty na taveninu (Ganjyal, 2020; Roos, 2016). Extruze může přispět k termální a mechanické denaturaci proteinů. Intramolekulární vodíkové a disulfidové vazby jsou přerušeny a dochází tak k rozvíjení struktury, která může být proteolytickými enzymy snadněji hydrolyzována (Damodaran & Parkin, 2017; Gulati et al., 2020). Vysoké teploty a smykové síly rozkládají peptidové vazby. Uvnitř a mezi proteinovými řetězci vznikají nové kovalentní a nekovalentní vazby, které ovlivňují rozpustnost a texturu, čímž se mění funkčnost daného proteinu. Prostřednictvím hydrofobních interakcí a disulfidových vazeb dochází k agregaci proteinů, které snižují jejich rozpustnost (Gulati et al., 2020). Tyto změny vedou k nevratné změně prostorové struktury proteinů (Cauvain, 2019). Instantní rýžová kaše patří mezi potraviny s vysokou hydratační schopností. Po smíchání rýžové kaše s vodou vzniká gel, který má vliv na strukturu bezlepkových těst. Bylo zkoumáno, zda je instantní rýžová kaše schopna částečně napodobit viskoelastické vlastnosti lepku a tím přispět ke zlepšení struktury, lepšímu pocitu v ústech a trvanlivosti bezlepkových produktů (Ronda et al., 2017).

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce bylo posoudit vliv

- a) granulace mouky
- b) podílu instantní rýžové kaše ve směsi s rýžovou moukou
- c) množství vody v receptuře
- d) kombinace všech faktorů

na vlastnost rýžového těsta a pečiva.

## **3 MATERIÁL A METODY**

### **3.1 Použitý materiál**

V práci byla použita rýžová mouka hladká, rýžová mouka polohrubá a instantní rýžová kaše. Složení rýžové mouky hladké a polohrubé v g na 100 g sušiny produktu bylo: tuky 0,6 g; z toho nenasycené mastné kyseliny 0,3 g; sacharidy 79 g; bílkoviny 7 g; sůl 0,03 g. Složení instantní rýžové kaše na 100 g sušiny produktu bylo: tuky 2,8 g; z toho nenasycené mastné kyseliny 0,4 g; sacharidy 79 g; bílkoviny 8 g; sůl < 0,01 g. Všechny suroviny byly zakoupeny v obchodním řetězci. Výrobcem rýžové mouky hladké a polohrubé byla společnost ADVENI MEDICAL, spol. s.r.o.. Výrobcem instantní rýžové kaše byla společnost NATURA Hustopeče s.r.o.. Při výrobě bezlepkového pečiva byly použity následující suroviny: cukr krupice (Cukrovar Vrbátky, a.s., ČR), sušené droždí (LESAFFRE Česko a.s., ČR) a chlorid sodný (Lach-Ner, s.r.o., Neratovice, ČR).

### **3.2 Metodika práce**

#### **Vliv přídavku vody v kombinaci s přídavkem rýžové kaše na vlastnosti rýžového těsta a pečiva**

Nejprve bylo zjišťováno, jak vlastnosti těsta a pečiva ovlivňuje přídavek instantní rýžové kaše. Tato část práce byla provedena na vzorcích těsta, které se lišily:

- a) Množstvím rýžové kaše ve směsi s rýžovou moukou
- b) Granulací rýžové mouky
- c) Recepturním množstvím vody

Přídavek instantní rýžové kaše v recepturách byl 0, 10, 20, 30, 40 a 50 % (w/w). Množství kaše bylo vztaženo na celkovou hmotnost mouky v receptuře. Každý přídavek instantní rýžové kaše byl smíchán s 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 a 160 % vody, droždím (3 %), cukrem (5 %) a solí (2 %). Množství droždí, cukru a soli bylo vztaženo na množství použité směsi mouky a kaše. Porovnávána byla schopnost těst produkovat a zadržet kypřící plyn produkováný kvasinkami. Byla měřena výška těst v závislosti na čase kynutí. Rovněž bylo pozorováno chování jednotlivých těst během stanovení výšky těsta.



## **Vliv přidavku vody na rýžová těsta z hladké a polohrubé mouky s 30 % přidavkem instantní rýžové kaše**

Na základě výsledků byla vybrána těsta s 30 % přidavkem instantní rýžové kaše, kde těsta byla smíchána s procentuálním množstvím vody 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 a 160 %. Byl sledován vliv granulace mouky, množství vody v receptuře na reologické a termomechanické vlastnosti rýžových těst, schopnost rýžových těst kynout a zadržet kypřící plyn a byla změřena velikost pórů bezlepkových těst.

## **Vliv přidavku instantní rýžové kaše na kvalitu rýžového těsta a pečiva z hladké a polohrubé mouky s přidavkem 150 % vody**

Kombinovaný vliv granulace rýžové mouky a přidavku rýžové kaše byl sledován na vzorcích připravených z hladké nebo polohrubé mouky s přidavkem 150 % vody. Procentuální množství instantní rýžové kaše v těstech bylo 0, 10, 20, 30, 40 a 50 %. Byly testovány reologické a termomechanické vlastnosti, schopnost rýžových těst kynout a zadržet kypřící plyn a byla změřena velikost pórů bezlepkových těst. U vyrobeného pečiva byl sledován vliv studovaných faktorů na specifický objem, ztráty pečením a výtěžnost pečiva. Texturní vlastnosti čerstvého pečiva a pečiva skladovaného po dobu 24 hodin. Čerstvé pečivo bylo podrobena sensorickému hodnocení.

### **3.3 Laboratorní postupy**

#### **3.3.1 Příprava těsta**

Těsto bylo připraveno smícháním rýžové mouky hladké nebo polohrubé, vodou, droždím (3 %), cukrem (5 %) a solí (2 %) s instantní rýžovou kaší. Navážka surovin byla vypočítána na základě vlhkosti rýžové mouky hladké nebo polohrubé nebo směsi rýžové mouky s instantní rýžovou kaší. Mouka byla smíchána v hnětací nádobě hnětače (ETA Gratus) s droždím a byly přidány ostatní suroviny. Těsto bylo hněteno po dobu  $6 \pm 1$  minut při 600 otáčkách za minutu. Těsta pro stanovení na reofermentometru byla připravena bez přidavku soli. Pro stanovení reologických a termomechanických vlastností byla těsta složena jen z rýžové mouky (hladké nebo polohrubé), instantní rýžové kaše a destilované vody. Vlhkost byla stanovena na automatických vahách Ohaus MB120 Moisture Analyzer Replaces the Ohaus MB45. Vzorek byl navážen na plechovou misku v rozmezí  $4 \pm 1$  gramů. Poté byl přístroj spuštěn a po ukončení

sušení byla z displeje přístroje odečtena vlhkost vzorku. Vlhkost byla vyjádřena v % jako průměr ze tří stanovení.

### 3.3.2 Orientační zkouška schopnosti těst zadržet kypřící plyn

Z uhněteného těsta byly odváženy tři vzorky o hmotnosti  $40 \pm 1$  g a umístěny do tří kádinek o objemu 150 ml. Kádinky byly umístěny do termostatu na  $180 \pm 2$  minut a stanovení probíhalo při  $30 \pm 2$  °C. Pomocí pravítka byla změřena výška těsta. První výška byla změřena před uložením do termostatu. Následně po každých 30 minutách byla výška těsta změřena znovu. Z každého vzorku těst bylo získáno celkem sedm měření. Výšky těst v jednotlivých fázích měření byly vztaženy na počáteční výšku a z výsledných hodnot byly vytvořeny grafy závislosti výšky těsta na čase. Každé těsto bylo připraveno ve třech opakováních.

### 3.3.3 Reologické a termomechanické vlastnosti těsta

Reologické a termomechanické vlastnosti rýžových těst byly stanoveny na mixolabu (*Chopin Technologies, Villeneuve la Garenne, France*) podle metody AACC 54-28.02 a 54-40.02. Reologické vlastnosti byla testována farinografickým testem po dobu 30 minut při teplotě 30 °C. Termomechanické vlastnosti byly testovány mixolabickým testem po dobu 45 minut. Teplota těsta během stanovení byla snižována a zvyšována v pěti fázích. V první fázi se teplota těsta udržovala při 30 °C po dobu 8 minut. Druhá fáze probíhala po dobu 15 minut. V této fázi byla teplota zvýšena na 60 °C. V třetí fázi byla tato teplota zvýšená na 90 °C a trvala po dobu 7 minut. Čtvrtá fáze probíhala 10 minut při teplotě 90 °C. V páté fázi byla teplota snížena na 50 °C a udržována po dobu 5 minut. Sledované parametry u reologických vlastností byly: vaznost vody mokou ( $W_{Těsta}$ ) (%), doba vývinu těsta ( $V_{Těsta}$ ) (min), stupeň měknutí těsta ( $M_{Těsta}$ ) (Nm), odolnost těsta vůči intenzivnímu namáhání ( $MTI_{Těsta}$ ) (Nm) a maximální konzistence těsta během hnětení ( $C_{max}$ ) (Nm). U termomechanických vlastností byly sledované parametry: absorpce vody ( $W_{Vody}$ ) v %, oslabení bílkovin (B) (%), minimální konzistence gelu během ohřevu (A) (Nm), maximální konzistence retrogradace ( $R_{Škrobu}$ ) (Nm) a stabilita indexu míchání (SIM) (Lauková et al., 2018). Každý vzorek těsta byl změřen minimálně ve dvou opakováních.

### 3.3.4 Schopnost těst tvořit a zadržet kypřící plyn zjišťována pomocí reofermentometru

Kynutí bezlepkových těst a schopnost tvořit a zadržet kypřící plyn bylo stanoveno na reofermentometru Rheo F4 (*Chopin Technologies, Villeneuve la Garenne, France*). Těsto o hmotnosti  $200 \pm 2$  g bylo vloženo do fermentační nádoby reofermentometru. Těsto bylo vloženo tak, aby zakrývalo celé dno fermentační nádoby. Následně byl do fermentační nádoby vložen píst a byl připojen senzor vývoje těsta. Bezlepková těsta byla analyzována při  $30$  °C po dobu 180 minut. Parametry získané z křivky zahrnovaly: maximální výšku těsta (Hm), pokles objemu těsta na konci měření (objemová ztráta), celkový objem vytvořeného plynu (ml) a objem zadrženého a uvolněného z těsta (ml) (Guo, 2020). Každý vzorek byl změřen ve dvou opakováních. Pórovitost rýžových těst byla měřena po stanovení na reofermentometru. Byly pořízeny fotografie v rozlišení 300 dpi a potom byly fotografie vytisknuty. Byla změřena délka a šířka pórů. Délka a šířka pórů byla měřena v deseti opakováních.

### 3.3.5 Výroba bezlepkového pečiva

Po uhnětení byl vzorek těsta dán do forem na pečení (Forma na celozrnný chléb TESCOMA DELLA CASA o rozměrech 12 x 7 x 22 cm) a uložen do kynárny, kde kynulo při teplotě  $30 \pm 2$  °C. Doba kynutí byla určena jako doba potřebná k dosažení nejvyšší výšky. Po kynutí bylo těsto upečeno v elektrické peci MIWE cube (Pekass s.r.o. Plzeň Czech Republic). Pečení probíhalo při teplotě  $180 \pm 5$  °C po dobu  $60 \pm 2$  minut. Poté byly vzorky vychlazeny. Doba chlazení byla přibližně 2 hodiny. Chlazení probíhalo při pokojové teplotě. Po vychlazení vzorků byl změřen objem a následně byl spočítán specifický objem bezlepkového pečiva. Po změření objemu byla u vzorků provedena texturní analýza. Texturní analýza byla provedena u čerstvého pečiva a u pečiva skladovaného po dobu 24 hodin.

**Specifický objem** byl stanoven za pomoci plastových granulí velikosti řepkového semene. Pro jeho stanovení byl naplněný 2 litrový válec, který byl následně zarovnan. Po vložení vzorku chleba byl získán tzv. přesyp, který byl odměřen v odměrném válci (objem pečiva). Specifický objem rýžového pečiva byl spočítán podle rovnice (3.1). Každý vzorek byl změřen třikrát.

$$V_{\text{pečiva}} = \frac{V}{m} \text{ (ml. g}^{-1}\text{)} \quad (3.1)$$

*V* – objem pečiva (ml), *m* – hmotnost pečiva (g)

**Ztráty pečením** byly získány z hodnot hmotnosti těsta a pečiva (vypočítané podle rovnice 3.2).

$$\text{Ztráty pečením}_{\text{pečiva}} = \frac{\text{hmotnost}_{\text{těsta}} - \text{hmotnost}_{\text{pečiva}}}{\text{hmotnost}_{\text{těsta}}} \cdot 100 (\%) \quad (3.2)$$

**Výtěžnost** pečiva byla vypočítána podle vzorce (3.3):

$$\text{Výtěžnost}_{\text{pečiva}} = \frac{\text{hmotnost}_{\text{pečiva}}}{\text{hmotnost}_{\text{těsta}}} \cdot 100 (\%) \quad (3.3)$$

### 3.3.6 Texturní profilová analýza

Textura bezlepkového pečiva byla analyzována analyzátozem textury TA.XT Plus (Stable Micro System Ltd. UK). Bezlepkové pečivo bylo nakrájeno na 1 cm plátky a poté byl z jednotlivých plátek vykrojen vzorek střídny pečiva o průměru 4 cm. Během analýzy byly vzorky pečiva dvakrát stlačeny válcovou sondou P/75R o průměru 75 mm. Rychlost sondy byla 1,00 mm/s. Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru Exponent Lite program. Z naměřených hodnot byla vypočítána elasticita (ELA), lepivost (LEP), pružnost (PRU), soudržnost (SOU), tvrdost (TVR) a žvýkatelnost (ŽVÝ) střídny bezlepkového pečiva. Každý vzorek byl změřen v sedmi opakováních.

### 3.3.7 Senzorické hodnocení

Senzorické hodnocení bylo provedeno ve stejný den, kdy bylo pečivo upečeno. Pečivo bylo předloženo skupině hodnotitelů složené z 15 členů (studentů) mužů i žen ve věku od 20 do 30 let. Chléb byl nakrájen na přibližně 1,5 cm plátky. Kratší okraj plátek byl odkrojen a plátky byly nakrájeny na přibližně stejnou velikost. Jednotlivé vzorky kousků pečiva byly popsány náhodnými písmeny a předloženy hodnotitelům. Byl hodnocen celkový vzhled pečiva a tvrdost kůrky po upečení, střída pečiva, textura pečiva a chuť a vůně. V senzorickém dotazníku byla použita nestrukturovaná stupnice v podobě čáry označená od 0 do 10, kde 0 znamenala, že vzorek neodpovídá požadavkům kvality bezlepkového pečiva a 10 znamenalo, že vzorek pečiva je srovnatelný s pšeničným pečivem.

### 3.3.8 Statistické zpracování dat

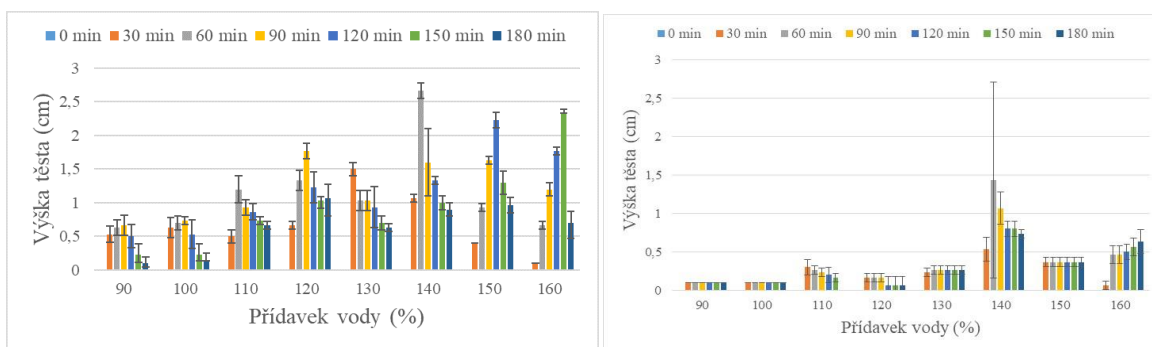
Průkaznost rozdílů mezi vzorky byla zjišťována analýzou variance (ANOVA) na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  pomocí Fisherova LSD testu. Statistická analýza byla provedena pomocí software Statistica CZ12 (StatSoft, CR. Ltd).

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 4.1 Orientační zkouška rýžových těst zadržet kypřící plyn

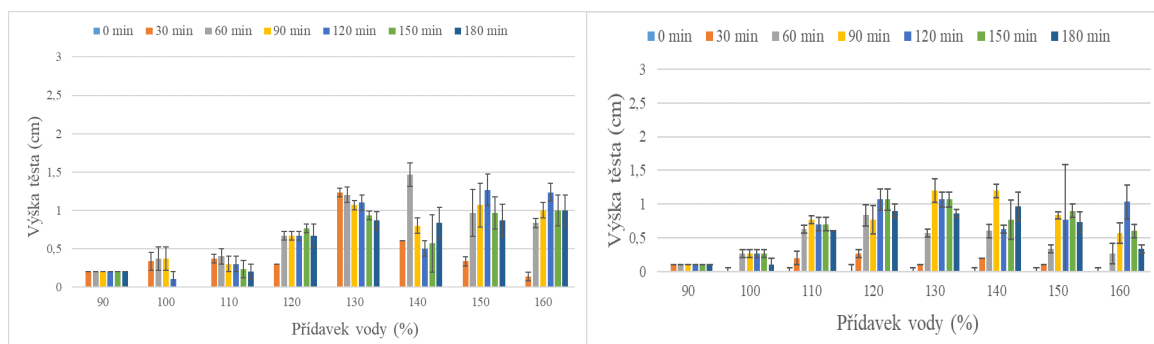
Instantní rýžová kaše má vysokou hydratační schopnost. Je známo, že kvalitu rýžového těsta silně ovlivňuje množství přidané vody. Předpokládalo se, že přidavek instantní rýžové kaše podstatně sníží množství dostupné vody zejména u vyšších přídavek kaše, kdy přidaná voda bude rýžovou kaší absorbována (Ronda et al., 2017; Wang et al., 2022; Kim et al., 2021). Očekávalo se, že s přibývajícím množstvím instantní rýžové kaše se bude výška těst vyrobených z hladké a polohrubé mouky snižovat. Z tohoto důvodu byly testovány přídávky vody od 90 až do 160 %.

Výška těst z hladké mouky bez přídávku instantní rýžové kaše rostla s rostoucím přídávkem vody, přičemž nejvyšší maximální výšky dosáhla těsta s nejvyšším množstvím vody. V porovnání s těsty z hladké mouky dosáhla těsta z polohrubé mouky nižší výšky (obr. 4.1). Běžný přidavek vody do rýžových těst se pohybuje okolo 100 – 110 %, a proto se předpokládalo se, že při velmi vysokém přídávku vody rýžová těsta bez přídávku instantní rýžové kaše nebudou schopna kynout. Jednotlivé výšky těst se však lišily v závislosti na době kynutí. Těsta z polohrubé mouky vyžadovala delší čas na kynutí, což souvisí s většími částicemi, které pomaleji absorbují vodu, a tudíž vyžadují delší dobu pro vytvoření vodíkových vazeb mezi vodou a poškozenými škrobovými granulemi (Liu et al., 2019). S přibývajícím množstvím přidané vody byla pozorována zvětšující se velikost pórů, které však mohou vést ke ztenčení stěn plynových buněk, zhroucení struktury a tím ke snížení stability rýžových těst (Qin et al., 2021). Podle Zhu et al., 2023, vyšší množství přidané vody podporuje kovalentní zesílení arabinoxylanových řetězců spojených vodíkovou vazbou. To by vysvětlovalo, proč těsta s vyšším množstvím vody byla schopna dosáhnout vyšší výšky než těsta s nižším množstvím vody. Tsatsaragkou et al., 2023 uvádí, že vyšší množství vody zvyšuje produkci kypřícího plynu. Lze tedy předpokládat, že vzhledem k velmi nízké viskozitě těsta značné množství kypřícího plynu z těsta uniklo, avšak jeho vysoká koncentrace v těstě mohla podpořit vznik pórů. Tuto teorii podporuje i fakt, že velikost pórů nebyla stejnorodá, ale s narůstající výškou byla velikost pórů zvětšována. Výsledky jasně prokazují, že rýžová těsta jsou schopna kynout i při velmi vysokém přídávku vody. Manipulace se vzorky však vyžadovala velmi jemné zacházení, aby nedocházelo ke zhroucení struktury těst.



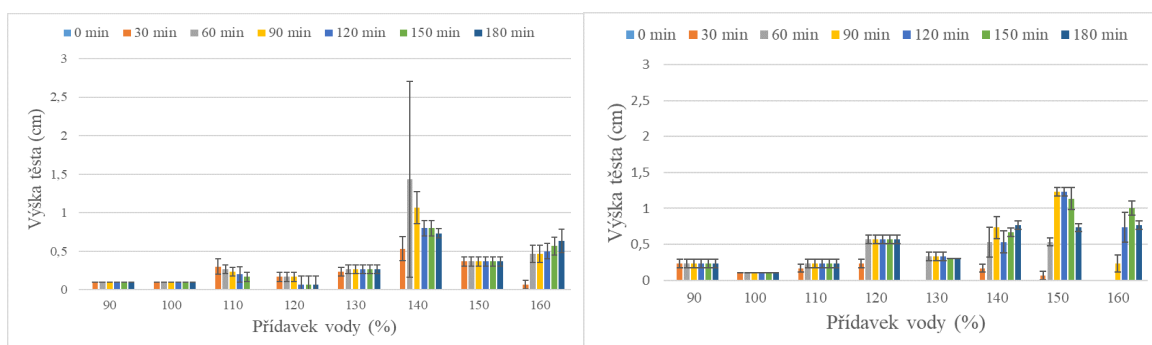
Obr. 4.1: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky bez přídavku instantní rýžové kaše

Zatímco přídavkem 10 % instantní rýžové kaše byla maximální výška těst z hladké mouky snížena, tak u těst z polohrubé mouky byla výška těst podstatně zvýšena (obr. 4.2). Konzistence rýžových těst však byla velmi řídká, přičemž u těst s vyššími přídavky vody by se dalo říct až tekutá. Přidaná voda byla rýžovou kaší navázána do struktury těsta, což přispělo k celistvější struktuře (Wang et al., 2022). Menší částice hladké mouky vytváří slabší strukturu těsta, a proto se předpokládá, že použitím polohrubé mouky byla vytvořena celistvější struktura těsta (Hera et al., 2014). K nejvyššímu propadu struktury došlo u těsta z hladké mouky s množstvím 140 % vody. Lze usuzovat, že přídavek 10 % kaše nevytvořil gel v celé struktuře těsta, což negativně ovlivnilo kynutí a stabilitu rýžových těst (Qin et al., 2021). Zhu et al., 2023 uvádí, že vyšší množství vody podporuje kovalentní zesílení arabinoxylanových řetězců spojených vodíkovou vazbou. Lze předpokládat, že struktura těsta z polohrubé mouky byla pevnější než u těsta z hladké mouky a tudíž těsto bylo schopné zadržet vyšší množství kypřícího plynu. Avšak u těst s nejvyšším množstvím vody (140 – 160 %) bylo pravděpodobně vyšší množství volné vody, což snížilo viskozitu těsta a jejich schopnost zadržet kypřící plyn.



Obr. 4.2: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 10 % přídavkem instantní rýžové kaše

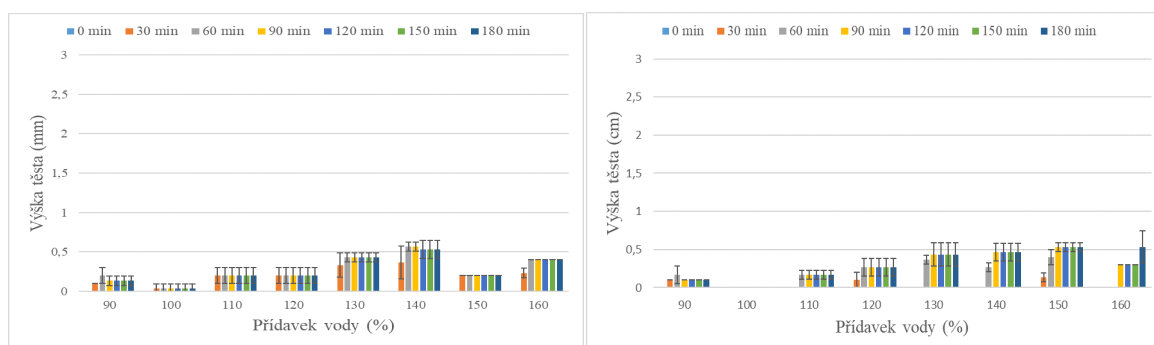
Maximální výška těst z hladké mouky byla přidavkem 20 % rýžové kaše negativně ovlivněna, zatímco u těst z polohrubé mouky výška těst kolísala v závislosti na množství přidané vody (obr. 4.3). I když vyšším přidavkem vody (160 %) byla podstatně snížena viskozita, tak bylo těsto z hladké mouky schopné nakynout. Těsto s množstvím 150 % vody nedosáhlo takové výšky jako těsta s přidavkem 140 a 160 %. Avšak navzdory vysokému množství vody (150 %) se těsto vyznačovalo vyšší stabilitou než těsta s přidavkem 140 a 160 %. Ding et al., 2021 uvádí, že před-želatinovaný škrob působí v těstě jako hydrokoloid, přičemž hydroxylové skupiny zmazovatělého škrobu jsou schopné vytvořit více vodíkových můstků mezi molekulami vody a poškozenými škrobovými granulemi. Proto se usuzuje se, že viskozita těsta s množstvím 140 % vody byla nižší než viskozita těsta s přidavkem 150 %. Nižší viskozita těsta, přispěla k větším pórům v těstě, avšak negativně ovlivnila jeho stabilitu. V těstě s nejvyšším množstvím vody (160 %) mohl přebytek volné vody snížit viskozitu těsta a umožnit vytvořit větší póry v těstě. Pravděpodobně díky kompaktnější struktuře těst z polohrubé mouky byla nejvyšší maximální výška dosažena množstvím 140 % vody. Podle Ding et al., 2021 před-želatinovaný škrob je schopen navázat vyšší množství vody prostřednictvím hydroxylových skupin. Lze tedy usuzovat, že přidavek 20 % rýžové kaše absorboval část přidané vody, avšak vytvořený gel pravděpodobně rozrušil strukturu rýžového těsta a tím snížil schopnost těst zadržet kypřící plyn.



Obr. 4.3: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 20 % přidavkem instantní rýžové kaše

Přidavkem 30 % rýžové kaše bylo kynutí rýžových těst z hladké i polohrubé mouky zlepšeno jen mírně (obr. 4.4). Zatímco struktura těsta z hladké s přidavkem 150 % vody byla pevná a stabilní, tak těsto s množstvím 160 % vody bylo řídké a byla vyžadována velmi jemná manipulace. Na rozdíl od těsta z hladké mouky, nebylo těsto z polohrubé mouky kompaktní. Částice polohrubé mouky absorbují přidanou vodu pomaleji než částice mouky hladké (Liu et al., 2019). Lze

předpokládat, že právě díky nižší absorpční schopnosti větších částic polohrubé mouky, bylo v těstě více volné vody, protože větší částice polohrubé mouky absorbovaly přidanou vodu pomaleji. I když těsto se 150 % vody dosáhlo nižší výšky než těsto s přídatkem 140 % vody, tak se těsto vyznačovalo vyšší stabilitou a bylo dostatečně nakynuté. S vyšším množstvím vody se vaznost rýžové kaše zvyšuje (Wang et al., 2022). Rozptýlením instantní rýžové kaše do struktury těsta (150 % vody) mohly řetězce arabinoxylanů vytvořit více vodíkových vazeb mezi zmazovatěným škrobem a vodou, což mohlo přispět k pevnější struktuře rýžového těsta. Tuto teorii podporují i reologické výsledky, kdy struktura těsta z hladké mouky s množstvím 150 % vody se vytvářela nejdéle. Předpokládá se, že nižším množstvím vody (140 %) nebyla vytvořena tak pevná struktura těsta, což umožnilo těstu dosáhnout vyšší výšky. Dá se usuzovat, že nejvyšší množství vody (160 %) podstatně snížilo viskozitu těsta, a umožnilo vytvořit větší póry v těstech. Lze předpokládat, že část přidané vody byla instantní rýžovou kaší absorbována, část vody byla navázána poškozenými škrobovými granulemi prostřednictvím vodíkových vazeb a část vody byla v těstě volně dostupná (Kim et al., 2021; Liu et al., 2019).



Obr. 4.4: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 30 % přídatkem instantní rýžové kaše

## 4.2 Vliv přídatku vodu na rýžová těsta z hladké a polohrubé mouky s 30 % přídatkem instantní rýžové kaše

### Reologické vlastnosti

Bylo zjištěno, že těsta z hladké i polohrubé mouky s vyšším přídatkem vody (110 – 160 %) mají vyšší odolnost vůči míchání než těsta s nižšími přídatky (90 – 100 %). Zvyšující se množství vody zvyšuje vaznost vody a prodlužuje čas potřebný pro vývin struktury těsta vyrobených z obou granulací (tab. 4.1). Z těst vyrobených z hladké mouky se nejdéle (30,1 min) vytvářela struktura těsta s přídatkem 150 % vody. U tohoto těsta byla stanovena i nejvyšší vaznost (147 %). I když těsta z polohrubé mouky bylo možné otestovat jen do přídatku 120 %



vody, tak z výsledků je patrné, že struktura těst z polohrubé mouky se vytvářela déle než u těst z mouky hladké, což souvisí s větší velikostí částic polohrubé mouky (Liu et al., 2019). Absorpce větší moučné částice trvá delší dobu než menší, a lze tedy předpokládat, že neabsorbovaná volná voda zvýšila tekutost těst (Kim et al., 2019). Zvyšující se množství volné vody v těstě mohlo zvýšit absorpční schopnost rýžové kaše (Wang et al., 2022). Předpokládá se, že na hydroxylové skupiny instantní rýžová kaše se mohlo navázat prostřednictvím vodíkových vazeb více molekul vody, což pravděpodobně prodloužilo dobu vývinu struktury těst. U nižších přídavek rýžové kaše byla značná část vody absorbována, a tudíž zvyšující se přírůstek vody mohl přispět k vyšší absorpci poškozených škrobových granulí (Donmez et al., 2021). Dá se předpokládat, že vyšším množstvím vody byl vytvořený gel zředěn, což zvýšilo jeho elasticitu a zvýšilo odolnost vůči míchání. Lze usuzovat, že nejvyšší přírůstek vody (160 %) vytvořil tak tekuté těsto, že přidaná instantní rýžová kaše nebyla schopna vytvořit gelovou síť (Ren et al., 2020).

Tabulka 4.1 Reologické vlastnosti těst z hladké a polohrubé mouky

	<b>Voda (%)</b>	<b><math>W_{Těsta}</math> (%)</b>	<b><math>V_{Těsta}</math> (min)</b>	<b><math>M_{Těsta}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b>MTI (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>C_{max}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>
Hladká mouka	90	85,05±0,07a	10,7±0,6a	157±9b	418±1a	580±50e
	100	93,30±0b	14,35±0,07b	130±0a	181±4b	370±1d
	110	102,00±0c	17,40±0c	122±4a	516±0c	270±20c
	120	110,95±0,07d	19,90±0d	119±3a	540±10c	210±10b
	130	119,95±0,07e	23,2±0,6e	99±10a	543±11c	168±6b
	140	128,95±0,07f	25,9±0,3f	93±6a	561±14c	110±20a
	150	147±0h	30,1±0,1h	101±3a	589±2c	63±3a
	160	138,10±0g	27,80±0g	104±4a	578±0c	87±4a
Polohrubá	90	83,4±0a	13,70±0a	116±2a	518,5±0,7a	253±2c
	100	92,3±0b	16,4±0,4b	109±4a	544±4a	187±4b
	110	101,2±0c	19,1±0,1c	98±1a	565±0b	110±8a
	120	110,3±0d	21,15±0,07d	102±1a	579±3b	87±5a

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

$W_{Těsta}$ : vaznost vody moukou;  $V_{Těsta}$ : doba vývinu těsta;  $M_{Těsta}$ : stupeň měknutí těsta; MTI: odolnost těsta vůči intenzivnímu namáhání;  $C_{max}$ : maximální konzistence těsta během hnětení

### Termomechanické vlastnosti

Bylo zjištěno, že zvyšující se množství vody snižuje mazovatění a retrogradaci škrobu rýžových těst vyrobených z hladké i polohrubé mouky (tab. 4.2). Mazovatění škrobu závisí na množství dostupné vody v těstě (Qin et al., 2021). Lze předpokládat, že vyšším přídatkem vody bylo zvýšeno množství dostupné vody v těstě, což pravděpodobně podpořilo rozptýlení instantní rýžové kaše (Cappa et al., 2013; Megusar et al., 2022). Podle Wang et al., 2019 může předželatinovaný škrob na povrchu částic rýžové mouky vytvořit ochrannou vrstvu, která brání hydrataci částice. Vytvořená gelová struktura mohla omezit vytvoření vodíkových vazeb mezi vodou a poškozenými škrobovými granulemi a přispět tak k nižšímu mazovatění a retrogradaci škrobu. U těsta z hladké mouky s přídatkem 160 % vody byla hodnota mazovatění a retrogradace škrobu vyšší než u těsta s přídatkem 150 % vody. Během hnětení je přidaná voda rýžovou kaší absorbována a je vytvářena gelová struktura těsta, která je závislá na množství přidané vody (Kim et al., 2021; Wang et al., 2022; Megusar et al., 2022). Lze předpokládat, že v těstě se 160 % vody byla viskozita těsta příliš nízká, a vzniklý gel nebyl schopný obalit škrobové granule a zabránit tak absorpci vody. Podle očekávání zvyšující se množství vody snížilo konzistenci gelu a stabilitu indexu míchání těst z hladké i polohrubé mouky, protože přídatek instantní rýžové kaše zvyšuje měknutí těst.

Tabulka 4.2 Termomechanické vlastnosti těst z hladké a polohrubé mouky

	<b>Voda (%)</b>	<b><math>W_{vody}</math> (%)</b>	<b>B (%) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>\check{Z}</math>škrobu (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b>A (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>R_{škrobu}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b>SIM (<math>10^{-3}</math>)</b>
Hladká mouka	90	58±1d	333±9b	920±20f	750±20f	1093±4g	466±1e
	100	40,9±0,5b	236±6a	740±10e	580±10e	860±20f	322±1d
	110	64,0±7,0e	600±100d	589±8d	473±1d	653±8e	217±4c
	120	51,6±0,8c	414±3c	516±8c	414±2c	577±4d	170±10b
	130	42±4b	350±20b	430±40b	350±20b	470±30bc	110±30a
	140	40,1±0,8b	321±4b	401±8b	321±4b	420±3b	104±1a
	150	29,6±0,8a	240±10a	296±8a	240±10a	310±10a	60±10a
	160	34,3±0,4a	291±2a	343±4a	291±2a	373±4b	85,6±0,4a
Polo	90	62±49a	500±600a	600±20c	673±2c	950±20d	220±10c
	100	43±5a	560±20a	430±40b	560±20b	770±10c	130±20b

	110	53±22a	600±100a	375,5±0,7 a	490±20a b	662±6b	109±3b
	120	33±2a	427±5a	330± 20a	427±5a	540±10a	72,5±0,7a

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

$W_{\text{vody}}$ : absorpce vody;  $B$ : oslabení bílkovin;  $Z_{\text{škrobu}}$ : maximální konzistence mazovatění;  $A$ : minimální konzistence gelu během ohřevu;  $R_{\text{škrobu}}$ : maximální konzistence retrogradace;  $SIM$ : stabilita indexu míchání

### **Kynutí těst a jejich schopnost tvořit a zadržet kypřící plyn**

Bylo prokázáno, že těsta z hladké i polohrubé mouky s přidavkem instantní rýžové kaše ovlivňují zejména vyššími přidavky vody, přičemž těsta z polohrubé mouky byla schopna dosáhnout vyšší výšky při nižších přidavcích vody než těsta z hladké mouky (tab. 4.3). Větší škrobové granule polohrubé mouky byly schopny prostřednictvím vodíkových vazeb navázat méně přidané vody, a nenavázaná voda zředila gel, čímž zvýšila jeho elasticitu a umožnila těstům dosáhnout vyšší výšky (de la Hera, 2013; Liu et al., 2019). Z těst z hladké mouky dosáhlo nejvyšší výšky (6,8 mm) těsto s přidavkem 150 % vody, zatímco u těsta z polohrubé mouky byla nejvyšší výška (8 mm) zaznamenána přidavkem 160 % vody. Tato těsta dosáhla nejvyšší výšky i na konci měření. Vyšším množstvím vody byl snížen objem vytvořeného kypřícího plynu v těstech z hladké i polohrubé mouky. Ačkoli byla produkce plynu s rostoucím přidavkem vody snižována, tak těsta dosáhla dostatečné nakypřenosti, protože s rostoucím přidavkem plynu se snižovalo uvolňování plynu z těsta.

Tabulka 4.3 Výška a produkce kypřícího plynu v těstech z hladké a polohrubé mouky

Voda %		Výška těsta (mm)		Produkce plynu (ml)		
		Maximální	Závěrečná	Celkem	Zadržžený	Uvolněný
Hladká	140	2±2b	2±2ab	1194±45b	1060±33b	135±12b
	150	6,8±0,6d	4±2b	1200±17b	1075±9b	126±8a
	160	5,6±0,9c	0,05±0,07a	1156±1a	1036±1a	120±2a
Polohr	120	0,7±0,6b	0,05±0,07a	1279±110de	1129±72c	150±38b
	130	7±3c	0,10±0a	1296±35c	1134±1c	162±33b
	140	7±2c	1,7±0,4b	1227±16b	1069±1b	143±4b

	150	5±4c	1±1ab	1269±87b	1106±59c	161±31b
	160	8±1d	3±1c	1117±81a	1003±61a	114±21a

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

### **Pórovitost rýžových těst**

Bylo potvrzeno, že zvyšující se přídavek vody pórovitost těst s 30 % přídavkem instantní rýžové kaše zvyšuje (tab. 4.4). Velikost malých a velkých pórů v těstě z hladké mouky byla s přibývajícím množstvím přidané vody zvětšována. Vytváření pórů v těstě je závislé na mechanických vlastnostech těsta (Burešová et al., 2017), které byly prokazatelně zlepšeny vyššími přídávky vody vytvořením elastičtějších stěn plynových buněk. V porovnání s těsty z hladké mouky byla u těst z polohrubé mouky zjištěna větší variabilita ve velikosti malých a velkých pórů v závislosti na vzrůstajících přídávčích vody. V těstech z polohrubé mouky mohlo vyšší množství dostupné vody vytvořit řidší těsta, která mohla vést ke koalescenci buněk, což se projevilo větší variabilitou ve velikosti velkým a malých pórů. Nízkým přídavkem vody byla vytvořena velmi tuhá struktura těsta, která pravděpodobně umožnila vytvořit jen malé póry v těstech. S přibývajícím množstvím vody se zvětšovala velikost malých a velkých pórů v těstě, avšak produkce kypřícího plynu byla snižována.

Tabulka 4.4: Velikost pórů rýžových těst z hladké a polohrubé mouky

Voda %		Výška pórů (mm)		Šířka pórů (mm)	
		Malé	Velké	Malé	Velké
Hladká	140	2,7±0,7b	6±1c	2,1±0,6b	5±1bc
	150	3,2±0,6c	8,5±0,8d	2,6±0,5c	6,5±0,7d
	160	2,8±0,9b	8±1d	2,0±0,5bc	6±1cd
Polohrubá	120	5,4±0,7d	10±1e	4,2±0,8d	7±1c
	130	3,7±0,9bc	7,8±0,9cd	3,0±0,8bc	5±1bc
	140	3,4±1,0bc	8±1c	2±1ab	5±2bc
	150	3,5±0,7bc	9±1d	2,6±0,8b	6±1c
	160	4,3±0,9c	10±1e	3,2±0,6c	7±1c

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

### 4.3 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na kvalitu rýžového těsta a pečiva z hladké a polohrubé mouky s přídavkem 150 % vody

#### a) Rýžové těsto

##### Vliv granulace mouky

Nebyl prokázán vliv granulace mouky na velikost pórů, výšku rýžových těst a jejich schopnost produkovat a zdržet kypřící plyn.

##### Vliv přídavku instantní rýžové kaše

Z výsledků je patrné, že přídavek instantní rýžové kaše zlepšil kynutí rýžových těst (tab. 4.5). Nejvyšší maximální výšky 8 mm dosáhla těsta s přídavkem 20 a 30 % instantní rýžové kaše, zatímco těsta s přídavkem 10 (5,4 mm) a 40 (4 mm) % rýžové kaše dosáhla maximální výšky nižší. Během hnětení se vytváří gelová struktura (Wang et al., 2022), přičemž se zvyšujícím se přídavkem rýžové kaše se zvyšovalo i množství gelu v těstě. Avšak 150 % přídavek vody ovlivnil elastické vlastnosti gelové sítě. Vyšším množstvím vody byla snížena pružnost stěn plynových buněk, což se projevilo zhroucením struktury těsta. Naopak vysoké množství rýžové kaše omezilo rozpínání stěn plynových buněk. Těsto s 30 % přídavkem mělo vyšší výšku na konci testu (3 mm) než těsta s přídavkem 20 a 40 % instantní rýžové kaše. Nejvíce kypřícího plynu bylo vytvořeno v těstech s přídavkem 20 a 30 % rýžové kaše. V těchto těstech bylo sice zdrženo nejvíce kypřícího plynu, ale současně bylo z těst nejvíce kypřícího plynu uvolněno. Podle výsledků lze usuzovat, že příliš řídká struktura v těstech s nízkým přídavkem rýžové kaše (0 a 10 %) nebo naopak příliš soudržná struktura těsta s vysokým přídavkem rýžové kaše (40 a 50 %) negativně ovlivňuje produkci kypřícího plynu a tím i výšku rýžových těst.

Tabulka 4.5: Vliv přídavku instantní rýžové kaše na výšku a produkci kypřícího plynu v rýžových těstech z hladké a polohrubé mouky

IRK (%)	Výška těsta (mm)		Produkce plynu (ml)		
	Maximální	Závěrečná	Celkem	Zadržný	Uvolněný
0	0,03±0,05a	0,03±0,06a	1039±125a	937±95a	103±30a
10	5,2±0,4b	0,05±0,05a	1132±50b	1016±39b	116±13a
20	8±2c	1±1ab	1228±50c	1090±28d	138±19c
30	8±2c	3±1c	1215±36c	1075±8cd	140±18c

40	4±5b	2±2b	1163±63bc	1033±41bc	129±23bc
50	0,7±0,8a	0,05±0,05a	1046±47a	951±39a	95±8a

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

Přídavek instantní rýžové kaše průkazně ovlivnil zejména velikost velkých pórů v těstě (tab. 4.6). Největší velké póry byly vytvořeny v těstech s přídavkem 10, 20 a 30 % instantní rýžové kaše. Velikost pórů je závislá na množství dostupné vody v těstě. Lze usoudit, že vysoký přídavek rýžové kaše vytvořil v těstě vysoké množství gelu, který zesílil stěny plynových buněk a tím omezil expanzi kypřícího plynu v plynových buňkách (Mondal a Datta, 2008).

Tabulka 4.6: Vliv přídavku instantní rýžové kaše na velikost pórů rýžových těst

IRK (%)	Výška pórů (mm)		Šířka pórů (mm)	
	Malé	Velké	Malé	Velké
0	1±1a	0a	0,7±0,7a	0a
10	3±1a	7±4c	2±1bc	6±2c
20	4±3a	8±3d	3±2d	5±2c
30	3,4±0,7a	8,6±0,9d	2,6±0,7cd	6,1±0,9c
40	2,4±0,9a	6±2b	2,0±0,7b	4±2b
50	3±2a	5±2b	2±1bc	4±2b

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

### Vliv obou faktorů (instantní rýžová kaše + granulace mouky)

Bylo zjištěno, že vyšší množství instantní rýžové kaše snižuje vaznost vody, zkracuje dobu vývinu struktury a snižuje odolnost rýžových těst z hladké mouky vůči míchání (tab. 4.7). Větší částice polohrubé mouky absorbují vodu pomaleji a přebytečná volná voda pravděpodobně zvýšila tekutost těst a umožnila otestovat těsto jen s přídavkem 50 % rýžové kaše. Těsta z hladké mouky byla sice méně tekutá, než těsta z polohrubé mouky, ale i přesto nebylo možné otestovat všechna těsta. Bylo zjištěno, že těsta z hladké mouky s nižším přídavkem rýžové kaše (30 %) má vyšší absorpci (147 %) než těsta s vyšším přídavkem (40 a 50 %). Předpokládá se, že vysoký přídavek instantní rýžové kaše (50 %) absorboval značnou část vody a v těstě nebyl dostatek volné vody pro absorpci částic hladké mouky (Kim et al., 2021). Vyšší množství dostupné vody v těstě s 30 %

přídavkem rýžové kaše vytvořilo řidší těsto, což prodloužilo dobu vytváření struktury těsta. Vyšší množství vody ovlivnilo odolnost těst vůči míchání, která byla prokazatelně vyšší u těst s přídavkem 30 a 40 % rýžové kaše.

Tabulka 4.7: Reologické vlastnosti rýžových těst z hladké mouky

<b>IRK (%)</b>	<b><math>W_{Těsta}</math> (%)</b>	<b><math>V_{Těsta}</math> (min)</b>	<b><math>M_{Těsta}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>CH_{Těsta}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>C_{max}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>
30	147±0c	30,1±0,1c	101±3a	589±2b	63±3a
40	138,3±0b	27,9±0,3b	99±6a	559±1b	553±3c
50	138±0a	27,5±0a	107±1a	129±4a	148±4b

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

$W_{Těsta}$ : vaznost vody moukou;  $V_{Těsta}$ : doba vývinu těsta;  $M_{Těsta}$ : stupeň měknutí těsta;  $CH_{Těsta}$ : odolnost těst vůči intenzivnímu míchání;  $C_{max}$ : maximální konzistence těsta během hnětení

Těsta z hladké mouky s přídavkem 30 a 40 % instantní rýžové kaše absorbovala více vody než těsto s přídavkem 50 % rýžové kaše (tab. 4.8). U těsta s přídavkem 50 % rýžové kaše bylo stanoveno vyšší oslabení bílkovin než v těstech s 30 a 40 % přídavkem. V těstě s vyšším přídavkem rýžové kaše (50 %) byla stanovena nižší mazovatění a retrogradace škrobu než v těstech s přídavkem 30 a 40 % rýžové kaše. Míru mazovatění ovlivňuje množství vody v těstě (Qin et al., 2021). Vysoký přídavek instantní rýžové kaše absorboval značnou část vody, což snížilo množství dostupné vody a podstatně omezilo mazovatění škrobových granulí. Těsto s přídavkem 30 % rýžové kaše mělo nižší stabilitu během míchání než těsta s vyššími přídavky rýžové kaše (40 a 50 %).

Tabulka 4.8: Termomechanické vlastnosti rýžových těst z hladké mouky

<b>IRK (%)</b>	<b><math>W_{Vody}</math> (%)</b>	<b>B (%) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>\check{Z}_{škrobu}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b>A (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b><math>R_{škrobu}</math> (Nm) (<math>10^{-3}</math>)</b>	<b>SIM (<math>10^{-3}</math>)</b>
30	29,6±0,8b	242±14b	296±8b	242±14b	314±13b	60±12a
40	28,5±0,2b	236±1b	285±2b	236±1b	311±6b	108±9b
50	23,6±0,5a	196±1a	236±5a	196±1a	266±2a	135±1b

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

$W_{Vody}$ : absorpce vody;  $B$ : oslabení bílkovin;  $\check{Z}_{škrobu}$ : maximální konzistence mazovatení škrobu;  $A$ : minimální konzistence gelu během ohřevu;  $R_{škrobu}$ : maximální konzistence retrogradace;  $SIM$ : stabilita indexu míchání

Těsta z polohrubé mouky s přidavkem 20 - 40 % rýžové kaše dosáhla vyšší maximální výšky (9 – 9,7 mm) než těsta z hladké mouky (6,15 a 6,8 mm) s 20 a 30 % přidavkem (tab. 4.9). Vyšší množství poškozených škrobových granulí hladké mouky mohlo navázat prostřednictvím vodíkových vazeb více vody a vytvořit tak celistvější strukturu těsta (Qin et al., 2021), která pravděpodobně přispěla k nižší výšce těst z hladké mouky. Tudíž se předpokládá, že vyšší množství volné vody zvýšilo flexibilitu těst z polohrubé mouky a umožnilo tak dosáhnout vyšší výšky i s vyššími přidavky rýžové kaše, navzdory tomu, že značná část přidané vody byla rýžovou kaší absorbována (Kim et al., 2021). Přidavkem rýžové kaše byla zvýšená produkce kypřícího plynu v těstech z polohrubé mouky, zatímco u těst z hladké mouky byla vyšší produkce zaznamenána pouze u těst s 20 a 30 % přidavkem. Tato těsta měla větší pórovitost a vyšší schopnost zadržet kypřící plyn. Podle Turbin-Orger et al., 2012, vytvoření větších pórů v těstě vede ke ztenčení stěn plynových buněk, čímž je usnadněna migrace kypřícího plynu během kynutí. Vysokým přidavkem 40 a 50 % (hladké mouky) a 50 % (polohrubé mouky) rýžové kaše byla vytvořena tak tuhá struktura těsta, která pravděpodobně omezila rozpínání stěn plynových buněk a tím podstatně snížila výšku rýžových těst.

Tabulka 4.9: Vliv přidavku instantní rýžové kaše na výšku a produkci kypřícího plynu těst z hladké a polohrubé mouky

IRK (%)	Vývoj těsta (mm)		Produkce plynu (ml)			
	Maximální	Závěrečná	Celkem	Zadržný	Uvolněný	
Hladká	0	0,05±0,07a	0,05±0,07a	1146±35cd	1017±34cd	128,5±0,7c
	10	5±0d	0a	1160±57cd	1040±37cde	119±21c
	20	6,15±0,07e	0,2±0,2a	1206±59de	1079±37de	128±22cd
	30	6,8±0,6e	4±2b	1200±17d	1075±9e	126±8c
	40	0,4±0,2b	0,2±0a	1114±18c	999±7cd	115±11c
	50	0,05±0,07a	0,05±0,07a	1008±28b	919±21b	89±7b
Polohrubá	0	0a	0a	933±16a	856±13a	77±4a
	10	5,3±0,7d	0,1±0a	1104±33c	992±28c	113±5c
	20	9,1±0,1f	2,1±0,1ab	1251±33e	1102±21ef	149±13cde
	30	9,7±0,3f	2,8±0,9b	1251±33e	1075±9de	155±11de
	40	9±1f	3,0±0,6b	1212±46de	1067±20de	144±26cde
	50	1,4±0,2c	0,05±0,07a	1084±8c	983±7c	100±0c



*\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).*

V porovnání s kontrolou byla pórovitost všech těst vyrobených z polohrubé mouky s přidavkem instantní rýžové kaše zvýšena. Z těst z hladké mouky byla zjištěna průkazně vyšší pórovitost pouze u těst s přidavkem 10 - 30 % instantní rýžové kaše (tab. 4.10). Výjimkou bylo těsto z hladké mouky s přidavkem 50 % instantní rýžové kaše, které mělo v porovnání s kontrolou menší velikost pórů. Pongjaruvat et al., 2014 zjistili, že přidavek před-želatinovaného škrobu zvyšuje pružnost a přispívá tak k vyšší expanzi plynových buněk. Lze tedy předpokládat, že vyšší elasticita stěn plynových buněk umožnila vytvořit větší póry v těstech. Hladká mouka má díky vyššímu množství poškozených škrobových granulí vyšší absorpční schopnost a proto se předpokládá, že přidavkem 50 % rýžové kaše byla významná část vody absorbována (Qin et al., 2021). Vytvořené husté těsto snížilo elasticitu stěn plynových buněk. Větší částice polohrubé mouky mají nižší absorpční schopnost než menší částice hladké mouky (Liu et al., 2019). Vysoký přidavek vody snižuje viskozitu a vede k deformaci struktury rýžových těst (Zhao et al., 2021). Těsto jen z polohrubé mouky bylo tak tekuté, že nebylo schopné nakypřit. I když byly v těstech z polohrubé mouky vytvořeny menší póry, při stanovení na reofermentometru dosáhla těsta vyšší výšky než těsta z hladké mouky.

Tabulka 4.10: Vliv přidavku instantní rýžové kaše na velikost pórů těst z hladké a polohrubé mouky

	IRK (%)	Výška pórů (mm)		Šířka pórů (mm)	
		Malé	Velké	Malé	Velké
Hladká mouka	0	0a	2,0±0,8b	0a	1,3±0,5b
	10	4,1±0,7f	10±2g	4±1e	7±2f
	20	6,6±0,8g	10,6±0,8g	5±1f	7±1f
	30	3,2±0,6def	8,5±0,8ef	2,6±0,5cde	6,5±0,7e
	40	2,2±0,6bcd	3,9±0,7c	1,9±0,6bc	3,0±0,6cd
	50	1,4±0,5b	3,4±0,5c	1,2±0,5b	2,6±0,5c
Polohrubá mouka	0	0a	0a	0a	0a
	10	1,5±0,5bc	3,9±0,9c	1,2±0,4b	3,7±0,9cd
	20	1,8±0,6bc	5,9±0,9d	1,2±0,4b	4,0±0,9d
	30	3,5±0,7ef	9±1f	2,6±0,8c	5,7±0,9e
	40	3±1cde	8±1ef	2,0±0,8bc	6±1e
	50	4,0±0,9f	7±1de	3,0±0,7cde	6±1e

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

## b) Rýžové pečivo

### Vliv jen granulace mouky

Nebyl prokázán vliv granulace mouky na specifický objem pečiva, ztráty pečením a výtěžnost pečiva, texturní vlastnosti čerstvého a skladovaného pečiva.

### Vliv jen přídavku rýžové kaše

Přídavek instantní rýžové kaše průkazně snížil ztráty pečením a zvýšil výtěžnost rýžového pečiva v porovnání s kontrolou bez přídavku instantní rýžové kaše (tab. 4.11). Pečivo s přídavkem 10 a 50 % instantní rýžové kaše mělo nižší ztráty pečením 23 a 21,7 % a vyšší výtěžnost 77 a 75 %. U pečiva s přídavkem 20, 30 a 40 % instantní rýžové kaše byly zjištěny vyšší ztráty pečením 25 – 27 % a nižší výtěžnost 73 – 75 %. Instantní rýžová kaše se mohla pomocí hydroxylových skupin navázat prostřednictvím vodíkových vazeb do struktury těsta, což pravděpodobně zpomalilo migraci vody (Kim et al., 2021; Grassi de Alcantara et al., 2020; Ding et al., 2021). Přídavkem instantní rýžové kaše bylo omezeno odpařování vody během pečení, což přispělo k nižším ztrátám pečením a vyšší výtěžnosti. Podle Ren et al., 2020, vysoký přídavek vody oslabuje stěny plynových buněk. Lze tedy usuzovat, že v průběhu pečení došlo ke koalescenci plynových buněk a rozpadu struktury těsta, zejména u pečiva s nižším přídavkem instantní rýžové kaše (Ren et al., 2020). U pečiva s vyššími přídavky instantní rýžové kaše byl objem bochníků vyšší. Z těchto důvodů nebyl zjištěn rozdíl mezi specifickými objemy pečiva.

Tabulka 4.11: Vliv přídavku instantní rýžové kaše na specifický objem, ztráty pečením a výtěžnost rýžového pečiva

IRK (%)	Specifický objem (ml/g)	Ztráty pečením (%)	Výtěžnost (%)
0	1,34±0,07a	29±2c	71±2a
10	1,2±0,2a	23±2a	77±2c
20	1,3±0,4a	27±2bc	73±2b
30	1,3±0,4a	26,4±0.2b	73,6±0.2b
40	1,2±0,3a	25±1ab	75±1bc
50	1,2±0,3a	21,7±0.7a	78,3±0.7c

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

Přídavkem instantní rýžové kaše byla průkazně ovlivněna tvrdost a žvýkatelnost čerstvého i skladovaného pečiva, kdy nejnižší hodnoty mělo pečivo s přídavkem 20 - 50 % rýžové kaše (tab. 4.12). Hydroxylové skupiny instantní rýžové kaše interagují prostřednictvím vodíkových vazeb s vodou (Donmez et al., 2021), za vytvoření gelové struktury, která přispěla k měkčí střídě pečiva a nižší tvrdosti a žvýkatelnosti. Vytvořená gelová struktura zvýšila soudržnost čerstvého pečiva s přídavkem 20 - 50 % rýžové kaše. Podle Roman et al., 2020, vysoká absorpční schopnost před-želatinovaného škrobu může napomoci zadržet vlhkost ve střídě pečiva. Přídavek instantní rýžové kaše omezil migraci vody během skladování, což přispělo k vyšší soudržnosti pečiva s přídavkem 30 - 50 % rýžové kaše.

Tabulka 4.12: Vliv přídavku rýžové kaše na texturní vlastnosti čerstvého a skladovaného pečiva

	<b>IRK (%)</b>	<b>ELA (%)</b>	<b>LEP (N)</b>	<b>PRU (%)</b>	<b>SOU (%)</b>	<b>TVR (N)</b>	<b>ŽVÝ (N)</b>
Čerstvé pečivo	0	41±4ab	-0,5±0,5ab	81±5a	73±5a	22±3c	1322±206c
	10	42±3ab	-1,0±0,8a	79±10a	78±4abc	9±3b	576±191b
	20	41±1a	-0,4±0,5ab	83±5a	79±1b	4±1a	251±66a
	30	39±2a	-0,6±0,7ab	85±6ab	79±2bc	3±1a	173±87a
	40	39±2a	-0,3±0,6ab	83±7ab	79±1b	3±1a	174±60a
	50	40±2a	-0,8±0,8ab	85±3a	81±1c	2,7±0,8a	187±51a
Skladované	0	39±5a	-0,6±0,6b	77±6a	66±10a	41±17c	1954±532c
	10	41±3ab	-1,4±0,7a	82±5ab	76±3b	13±4b	843±242b
	20	42±1b	-0,7±0,6ab	83±5ab	79±3c	5±1a	302±93a
	30	40,6±0,9a	-1,1±0,7ab	86±5b	80±1cd	4,4±0,6a	302±53a
	40	40±1a	-0,9±0,6ab	84±6ab	81±1d	3,2±0,8a	220±52a
	50	41±1ab	-1,4±0,7a	82±4ab	81±1d	4,1±0,7a	272±52a

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

ELA: elasticita; LEP: lepivost; PRU: pružnost; SOU: soudržnost; TVR: tvrdost; ŽVÝ: žvýkatelnost

### Vliv obou faktorů (granulace mouky + kaše) současně

Přídavek instantní rýžové kaše průkazně snížil ztráty pečením a zvýšil výtěžnost pečiva vyrobeného z hladké i polohrubé mouky (tab. 4.13). Nebyl

prokázán vliv granulace mouky ani přidavku instantní rýžové kaše na specifický objem pečiva. Santos et al., 2021 dosáhli vyššího specifického objemu přidavkem vysokého přidavku vody (150 a 160 %). Avšak autoři použili cizrnovou mouku, která obsahuje vyšší množství bílkovin, které jsou schopny podpořit strukturu těsta. Vyššího specifického objemu bylo docíleno přidavkem červené, černé nebo lepkavé mouky (Burešová et al., 2023). Pečivo vyrobené z hladké mouky mělo nižší ztráty pečením a vyšší výtěžnost než pečivo z polohrubé mouky. Instantní rýžová kaše obsahuje volné hydroxylové skupiny, na které se vodíkovou vazbou mohou navázat zmazovatělé škrobové granule, což napomáhá zadržet vodu a zpomaluje migraci vody během pečení. Předpokládá se, že menší částice hladké mouky mohly navázat vyšší množství vody, a proto mělo pečivo z hladké mouky nižší ztráty pečením (Donmez et al., 2021). V naší studii pečivo s přidavkem 10 - 30 % rýžové kaše, mělo vyšší ztráty pečením než pečivo s vyšším přidavkem (40 a 50 %) (Augustová et al., 2022). Pečivo s přidavkem 10 a 50 % rýžové kaše mělo nižší ztráty pečením (21,1 – 24 %) než pečivo s přidavkem 20 - 40 % rýžové kaše (36,5 – 28 %). Podle Grassi de Alcantara et al., 2020 mohou nespojené nebo malé póry omezit migraci vody během pečení. Přebytek dostupné vody v těstě (10 %) nebo velmi kompaktní struktura (50 %) mohly tedy zpomalit migraci vody během pečení. K vyšším ztrátám během pečení mohly přispět i vytvořené větší póry v těstě, kdy došlo ke ztenčení stěn plynových buněk, a tím usnadnit migraci vody během pečení (Qin et al., 2021).

Tabulka 4.13: Vliv přidavku instantní rýžové kaše na specifický objem, ztráty pečením a výtěžnost rýžového pečiva z hladké a polohrubé mouky

Mouka	IRK (%)	Specifický objem (ml/g)	Ztráty pečením (%)	Výtěžnost (%)
Hladká	0	1,29±0,07a	28±1g	72±1b
	10	1,2±0,2a	22,0±0,1a	78,0±0,1h
	20	1,3±0,5a	25,38±0,04d	74,62±0,04e
	30	1,4±0,5a	26,5±0,2f	73,5±0,2c
	40	1,2±0,3a	24,2±0,2c	75,8±0,2f
	50	1,2±0,3a	21,1±0,1a	78,9±0,1h
Polohrubá	0	1,39±0,01a	31±1h	69±1a
	10	1,2±0,3a	24±1c	76±1f
	20	1,3±0,5a	28±1g	72±1b
	30	1,3±0,4a	26,3±0,2f	73,7±0,2b
	40	1,2±0,4a	25,9±0,2e	74,1±0,2d
	50	1,2±0,3a	22,3±0,2b	77,7±0,2g

*\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).*

Z texturních vlastností čerstvého pečiva byla průkazně nejvíce ovlivněna tvrdost, žvýkatelnost, soudržnost, pružnost a elasticita. Během hnětení byla přidaná voda navázána hydroxylovými skupinami vodíkovými vazbami ke škrobu, čímž byl vytvořený gel (Ding et al., 2021). Vytvořená gelová struktura tedy mohla přispět k měkčí stříde pečiva, což se projevilo nižší tvrdostí a žvýkatelností, zejména u pečiva z hladké i polohrubé mouky s přidavkem 20 – 50 % rýžové kaše (tab. 4.14). Granulace mouky nejvíce ovlivnila pružnost a soudržnost rýžového pečiva. Pečivo z polohrubé mouky mělo průkazně vyšší soudržnost přidavkem 20 - 50 % rýžové kaše, přičemž pružnost pečiva nebyla ovlivněna. Pečivo z hladké mouky mělo průkazně vyšší pružnost přidavkem 20 – 40 % rýžové kaše, zatímco soudržnost byla zvýšená pouze u pečiva s 50 % přidavkem. Větší částice polohrubé mouky během pečení mazovají méně, a proto se předpokládá, že nebyly schopné navázat dostatečné množství vody a vyšší množství volné vody pozitivně ovlivnilo soudržnost pečiva (Qin et al., 2021). Ačkoli byla elasticita pečiva z hladké mouky s 10 % přidavkem instantní rýžové kaše srovnatelná s kontrolou, tak u pečiva s přidavkem 30 - 50 % rýžové kaše byla elasticita pečiva nižší. Struktura pečiva s nejvyšším (50 %) přidavkem byla tvořena převážně gelem, který mohl při testování popraskat, což negativně ovlivnilo elasticitu pečiva z hladké mouky.

Tabulka 4.14: Vliv přidavku instantní rýžové kaše na texturní vlastnosti čerstvého pečiva z hladké a polohrubé mouky

	<b>IRK (%)</b>	<b>ELA (%)</b>	<b>PRU (%)</b>	<b>SOU (%)</b>	<b>TVR (N)</b>	<b>ŽVÝ (N)</b>
Hladká mouka	0	45±1c	81±4a	77,4±0,4b	23±3d	1428±188d
	10	46±1c	75±12a	80,6±0,7bc	8±3c	504±224bc
	20	41,0±0,8b	87±2b	79,8±0,9b	3,8±0,4b	259±34ab
	30	38,9±0,5a	87±2b	80±1b	3,6±0,5b	253±41ab
	40	38,2±0,7a	87±4b	79±2b	2,5±0,4ab	170±28a
	50	38±2a	85±2a	81±1c	3±1ab	175±62a
Polohrubá mouka	0	39±3ab	81±6a	70±5a	22±4d	1234±191d
	10	40±2ab	82±8ab	75±3ab	10±2c	628±161c
	20	41±1b	80±4a	79±2b	4±1a	244±87abc
	30	39±3ab	83±9ab	78±3b	1,6±0,7a	105±44a
	40	41±1b	80±7a	79±1b	3±1ab	179±85a
	50	41±1b	84±3a	81±1c	2,9±0,7ab	197±42a

*\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ). ELA: elasticita; LEP: lepivost; PRU: pružnost; SOU: soudržnost; TVR: tvrdost; ŽVÝ: žvýkatelnost*

Z texturních vlastností skladovaného pečiva byla průkazně nejvíce ovlivněna tvrdost, žvýkatelnost, soudržnost, pružnost a elasticita (tab. 4.15). K nejintenzivnějšímu vypařování vody dochází na začátku skladování, přičemž voda migruje směrem od středu střídy pečiva ke kůrce (Monteau et al., 2017). Přidáním instantní rýžové kaše byla přidaná voda pevně navázána ve struktuře pečiva, přičemž vyšší množství rýžové kaše absorbovalo více vody (Fu et al., 2014), čímž byla snížena migrace vody během skladování (Wang et al., 2022) a dosažena nižší tvrdost a žvýkatelnost pečiva. Přídavkem instantní rýžové kaše byla průkazně zvýšena elasticita pečiva z polohrubé mouky, zatímco u pečiva z hladké mouky byla zvýšená pouze 30 - 50 % přídavkem. Během pečení škrobové granule polohrubé mouky mazovají méně než škrobové granule hladké mouky (Qin et al., 2021). I když značná část vody byla během pečení odpařena, přesto bylo v pečivu z polohrubé mouky dostatečné množství volné vody, která pozitivně ovlivnila elasticitu pečiva. Pevnější struktura pečiva z hladké mouky pozitivně ovlivnila pružnost pečiva z hladké mouky. Ukázalo se, že vyšší množství volné vody zvyšuje soudržnost pečiva z polohrubé mouky, protože vyšší množství vody podporuje absorpci rýžové kaše (Wang et al., 2022). Vytvořené vodíkové vazby mezi vodou a poškozenými škrobovými granulemi a instantní rýžovou kaší mohly být během skladování rozrušeny (Yan et al., 2022), což mohlo texturní vlastnosti pečiva z hladké i polohrubé mouky také negativně ovlivnit.

Tabulka 4.15: Vliv instantní rýžové kaše na texturní vlastnosti skladovaného pečiva z hladké a polohrubé mouky

	IRK (%)	ELA (%)	PRU (%)	SOU (%)	TVR (N)	ŽVÝ (N)
Hladká mouka	0	43,3±0,8d	81±3ab	76±2c	25±5c	1505±263d
	10	44±2de	85±5b	79±2cde	13±4b	900±279c
	20	43,1±0,9d	83±6b	81±2e	4±1a	280±100b
	30	40,2±0,6bc	87,8±0,5b	81±1e	4,6±0,7a	331±44b
	40	39±1b	85±4b	81±2e	2,8±0,7a	190±49a
	50	39,3±0,4b	82±4b	79,6±0,8de	4,3±0,7a	281±57b
Polohrubá	0	35±2a	73±5a	57±3a	56±7d	2339±367e
	10	39±1b	80±5ab	73±1b	14±4b	802±225c
	20	41,0±0,5c	82±4b	77±1cd	5±1a	317±92b
	30	41±1c	84±7b	79,1±0,8de	4,2±0,6a	280±50b
	40	40±2bc	83±7b	80,4±0,9e	3,7±0,5a	250±36b
	50	41,6±0,7cd	82±4b	81,9±0,9e	4,0±0,7a	266±52b

\*Průměrné hodnoty výsledků jsou srovnávány ve sloupci označené různými písmeny, které se významně liší ( $p < 0,05$ ).

ELA: elasticita; LEP: lepivost; PRU: pružnost; SOU: soudržnost; TVR: tvrdost; ŽVÝ: žvýkatelnost

### Senzorická analýza

U pečiva z hladké mouky byla pozitivně ohodnocena zejména vyšší soudržnost střídy, větší póry, vyšší tvrdost kůrky po upečení a lepší chuť a vůni než pečivo z mouky polohrubé. Mezi pozitiva pečiva z polohrubé mouky byla hodnocena nižší lepivost střídy a nižší žvýkatelnost v porovnání se střídou pečiva vyrobeného z mouky hladké. V porovnání s kontrolou mělo pečivo s přídavkem 10, 20 a 50 % rýžové kaše vyšší tvrdost kůrky. Pečivo s přídavkem 30, 40 a 50 % rýžové kaše bylo soudržnější a méně pružné a pečivo s přídavkem 20 % rýžové kaše bylo ohodnoceno jako méně dopečené než s 10 a 40 % přídavkem. V porovnání s ostatními přídavky pečivo s přídavkem 10 a 20 % přídavkem rýžové kaše je pružnější. Pečivo s přídavkem 20 % instantní rýžové kaše mělo vyšší pórovitost a lepší vůni. Pečivo z hladké mouky s přídavkem 20, 30 a 50 % rýžové kaše mělo podle hodnotitelů vyšší pórovitost v porovnání s pečivem z polohrubé mouky, ale pouze s přídavkem 20 a 50 % rýžové kaše v pečivu z hladké mouky byla dosažena tvrdší kůrka po upečení. Pečivo z hladké mouky s 20, 30 a 40 % přídavkem rýžové kaše mělo průkazně větší póry než pečivo vyrobené z mouky polohrubé. Přídavek rýžové kaše snížil podle hodnotitelů soudržnost pečiva z hladké mouky.

## 5 PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Poptávka po kvalitnějších bezlepkových produktech stále zvyšuje, avšak kvalita těchto produktů zatím nedosahuje požadovaných vlastností. Pro získání objemu a požadované textury pečiva je klíčová lepková síť. Nepřítomnost lepku v bezlepkových výrobcích má za následek mnoho kvalitativních vad, jako je nízký objem, horší kvalita střídy, nepříznivá chuť a krátká doba trvanlivosti. Instantní rýžová kaše má vysokou schopnost hydratace, a proto byla zkoumána jako jedna z možností jak zvýšit kvalitu bezlepkového těsta a pečiva. Po smíchání s vodou vytváří gel, který ovlivňuje strukturu bezlepkových těst.

### **Přínos práce pro vědu:**

- Bylo zjištěno, že vyšší hydratační schopnost instantní rýžové kaše ovlivňuje texturní vlastnosti rýžového pečiva
- Zmazovatělé škrobové granule a denaturované bílkoviny jsou schopny pevně navázat vodu do struktury těsta a ovlivnit tak kvalitu bezlepkového pečiva
- Přídavkem 30 % instantní rýžové kaše bylo dosaženo vyššího specifického objemu a nižších ztráty během pečení
- Bylo zjištěno, že nejnižší přídavky (10 - 30 %) instantní rýžové kaše umožňují dosáhnout vyššího specifického objemu
- Nízkými přídavky instantní rýžové kaše (10 -30 %) byla omezena migrace vody během pečení, čímž byly sníženy ztráty během pečení
- Bylo zjištěno, že přídavek instantní rýžové kaše snižuje tvrdost a žvýkatelnost rýžového pečiva
- Přídavek instantní rýžové kaše ovlivňuje distribuci vody během skladování a prodlužuje tím čerstvost rýžového chleba



## **Přínos práce v oblasti praxe:**

### **Vliv množství vody na těsto s přidavkem 30 % rýžové kaše**

- Nejnižší vaznost vody a nejdéle vytvářející strukturu mělo těsto z hladké mouky s přidavkem 150 % vody; u těst z polohrubé mouky byl stanoven snižující se trend
- Přídavek 110 – 160 % vody prokazatelně zvýšil odolnost těst z hladké mouky vůči intenzivnímu namáhání; u těst z polohrubé mouky měla prokazatelně vyšší odolnost těsta s přidavkem 110 a 120 % vody
- Těsta z polohrubé mouky dosáhla vyšší výšky při nižších přídavcích vody (120 – 160 %), než těsta z hladké mouky, která dosáhla vyšší výšky přidavkem 140 – 160 % vody
- Ačkoli těsto z hladké mouky s přidavkem 150 % vody dosáhlo nejnižší hodnot mazovatění a retrogradace škrobu, při stanovení na reofermentometru dosáhlo nejvyšší výšky
- Vyšším přidavkem vody byla průkazně větší velikost pórů, což se projevilo vyšší výškou těst z hladké i polohrubé mouky

### **Vliv přidavku rýžové kaše na těsto a pečivo s přidavkem 150 % vody**

- Těsto z hladké mouky s přidavkem 30 % instantní rýžové kaše prokazatelně zvyšuje absorpci a prodlužuje dobu vývinu struktury; přidavek 30 a 40 % rýžové kaše zvyšuje odolnost těsta vůči intenzivnímu namáhání
- Přídavek 30 a 40 % rýžové kaše snižuje mazovatění a retrogradaci škrobu v těstě z hladké i polohrubé mouky
- Přídavek 20 a 30 % rýžové kaše umožnil vytvořit v těstě z hladké mouky větší póry; těsta z polohrubé mouky dosáhla vyšší pórovitosti přidavkem 20 – 40 %; větší velikost pórů vedla k vyšší výšce těst
- Přídavek instantní rýžové kaše (10 – 50 %) prokazatelně snižuje ztráty pečením a zvyšuje výtěžnost pečiva z hladké i polohrubé mouky
- Přídavek 20 – 30 % rýžové kaše zvyšuje pružnost čerstvého pečiva z hladké mouky, zatímco přidavek 20 – 50 % rýžové kaše zvyšuje soudržnost pečiva z polohrubé mouky
- Přídavek instantní rýžové kaše (10 – 50 %) snížil tvrdost, žvýkatelnost a prodloužil trvanlivost pečiva vyrobeného z hladké i polohrubé mouky

## 6 ZÁVĚR

Počet lidí trpících nesnášenlivostí nebo alergií na lepek stále narůstá a tak se poptávka po kvalitnějších bezlepkových produktech stále zvyšuje. Bylo zjištěno, že gelová struktura v těstě z hladké i polohrubé mouky s přidavkem 30 % instantní rýžové kaše vytvořená s vyšším přidavkem vody zvyšuje odolnost těst vůči míchání. Bylo zjištěno, že vyšší přidavek vody podporuje rozptýlení instantní rýžové kaše do struktury těsta, což zapříčinilo nižší mazovatění a retrogradaci škrobu. Navzdory snížené produkci plynu a nižší schopnosti těst zadržet kypřící plyn byly vyšším přidavkem vody vytvořeny větší póry v těstě, které umožnily těstům dosáhnout vyšší výšky. Polohrubá mouka má díky větším částicím nižší absorpční schopnost, což pravděpodobně zvýšilo množství dostupné vody v těstě a tím umožnilo těstům dosáhnout vyšší výšky než těstům z hladké mouky. Ukázalo se, že vyšší přidavek vody zvyšuje flexibilitu stěn plynových buněk, což podporuje tvorbu větších pórů v těstě a taktéž přispívá k vyšší výšce rýžových těst. U těst s vysokým přidavkem instantní rýžové kaše (50%) byla vytvořena robustní struktura, která negativně ovlivnila odolnost těst vůči míchání, vaznost vody a podstatně zkrátila čas vytvoření struktury. Jak se ukázalo, vysoký přidavek rýžové kaše (50%) absorboval významnou část vody, čímž bylo sníženo množství dostupné vody, a tudíž její nedostatek v těstě pravděpodobně přispěl k nižší mazovatění a retrogradaci škrobu. Z důvodu rozdílné absorpční schopnosti poškozených škrobových granulí hladké a polohrubé mouky byl zjištěn rozdílný vliv přidavku instantní rýžové kaše na výšku těst. Zatímco těsta z hladké mouky dosáhla vyšší výšky při nižších přidavcích, tak těsta z polohrubé mouky dosáhla vyšší výšky při vyšších přidavcích rýžové kaše. Bylo zjištěno, že instantní rýžová kaše omezuje migraci vody během pečení a prokazatelně tak snižuje ztráty pečením a zvyšuje výtěžnost pečiva z hladké i polohrubé mouky. Navíc vytvořená gelová struktura přispívá k měkčí stříde pečiva, což snižuje tvrdost a žvýkatelnost a přispívá k soudržnější struktuře pečiva. Bylo prokázáno, že instantní rýžová kaše je schopna zpomalit migraci vody během skladování a prodloužit tak trvanlivost pečiva vyrobených z obou granulací. Získané výsledky potvrzují, že přidavek instantní rýžové kaše je vhodná pro výrobu rýžového těsta a pečiva a jelikož je instantní rýžová kaše schopna částečně imitovat vlastnosti pšeničného lepku, tak přispívá i k vyšší kvalitě rýžového těsta a pečiva.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AACC International. American Association of Cereal Chemists. AACC International approved methods of analysis, 11 th edition Minnesota: Saint Paul 2009

ARENDR, E.K. a F. DAL BELLO. Functional cereal products for those with gluten intolerance. In: HAMAKER, Bruce R. *Technology of functional cereal products*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, s. 446 – 475. ISBN 978-1-84569-177-6

ARENDR Elke K.; Andrew MORRISSEY; Michelle M MOORE; Fabio DAL BELLO. Gluten-free breads. IN: ARENDR, Elke K. a Fabio DAL BELLO. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Elsevier, 2008 s. 289 – 319. ISBN 9780123737397

BARRY-RYAN, Catherine; VASSALLO, Marco & POJÍČ, Milica. 10 – The Consumption of Healthy Grains: Product, Health, and Wellness Trends. In: POJÍČ, Milica, Uma TIWARI. *Innovative Processing Technologies for Healthy Grains*. New Jersey: John Wiley & Sons (Wiley), 2020, s. 227 – 249. ISBN 978-1-119-47016-8 Dostupné z: 10.1002/9781119470182.ch10

BENDER, Denise a SCHÖNLECHNER, Regine. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, December 2020, **91**, 102904. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102904>

BOCK, J.E. 9 – Enzymes in breadmaking. In: YADA, Rickey Y. *Improving and Tailoring Enzymes for Food Quality and Functionality*, Amsterdam: Elsevier, 2015, s. 181 – 198. ISBN 978-1-78242-285-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-285-3.00009-0>

BUREŠOVÁ, Iva et al. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*, July 2014, **60**, 271 – 275. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jsc.2014.07.001>

BUREŠOVÁ, Iva et al. The comparison of the effect of sodium caseinate, calcium caseinate, carboxymethyl cellulose and xanthan gum on rice-buckwheat dough rheological characteristics and textural and sensory quality of bread. *LWT – Food*

*Science and Technology*, January, 2016, **68**, 659 – 666. Dostupné z: <https://dx.org/10.1016/j.lwt.2016.01.010>

BUREŠOVÁ, Iva et al. The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science*, April 2017, **75**, 158 – 164. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.004>

BUREŠOVÁ, Iva et al. The effect of Chios mastic gum addition on the characteristics of rice dough and bread. *LWT – Food Science and Technology*, April 2017, **81**, 299 – 305. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.010>

CAPPA, Carola et al. Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, November 2013, **98**(2), 1657 – 1666. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cabpol.2013.08.007>

CAPPA, Carola et al. Gluten-Free Bread: Influence of Sourdough and Compressed Yeast on Proofing and Baking Properties. *Foods*, July 2016, **5**(4), 69. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods5040069>

CAUVAIN, Stanley P. Reduced salt and sodium in bread and other baked products. In: BEEREN, Cindy; Kathy GROVES a Pretima M. TITORIA. *Reducing Salt in Foods*. Second Edition. Cambridge: Elsevier, 2019, s. 213 – 229. ISBN 978-0-08-100933-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100890-4.00009-3>

CULETU, Alina et al. The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycaemic Index. *Foods*, December 2021, **10**, 3121. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10123121>

DAVIDSON, Iain. BISCUIT, COOKIE AND CRACKER PRODUCTION: Process, Production and Packaging Equipment. London: Academic Press, 2019, s. 165 – 172. ISBN 978-0-12-815579-0 Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815879-0.00016-7>

DAMODARAN, Srinivasan a Kirk L. PARKIN. *Fennema's Food Chemistry*, Fifth Edition. Boca Raton: CRC Press, 2017, s. 122. Amino acids, peptides, and

proteins. ISBN 9781315372914. Dostupné z:  
<https://doi.org/10.1201/9781315372914>

DAMODARAN, Srinivasan. Chapter 5 - Amino Acids, Peptides, and Proteins. In: DAMODARAN, Srinivasan & Kirk L. PARKIN. *Fennema's Food Chemistry*. Fifth edition. Amsterdam: Elsevier, 2017, s. 235 – 356. ISBN 978-0-12-815360-4

De la HERA, Esther et al. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT – Food Science and Technology*, November 2013, **54**(1), 199 – 206. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.019>

De la HERA, Esther et al. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, November 2014, **151**, 526 – 531. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115>

DELLA VALLE, G.; H. CHIRON; A. LE-BAIL a L. SAULNIER. Chapter 7 – Food Structure Development in Cereal and Snack Products. In: SPYROPOULOS, Fotis; Aris LAZIDIS a Ian T. NORTON. *Handbook of Food Structure Development*. London: Royal Society of Chemistry, 2020, s. 151 – 172. ISBN 978-1-78801-905-7

DING, Xiang-Li et al. Pre-Gelatinisation of Rice Flour and Its Effect on the Properties of Gluten Free Rice Bread and Its Batter. *Foods*, November 2021, **10**(11), 2648. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10112648>

DONMEZ, Dila et al. Characterization of starch-water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Current Opinion in Food Science*, June 2021, **39**, s. 103 – 109. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.018>

DUPONT, Christophe et al. hydrolyzed Rice Protein-Based Formulas, a Vegetal Alternative in Cow's Milk Allergy. *Nutrients*, August 2020, **12**, 2654. Dostupné z: [10.3390/nu12092654](https://doi.org/10.3390/nu12092654)

ELGETI, Dana et al. Strategies for the aeration of gluten-free bread – A review. *Trends in Food Science & Technology*, July 2015, **46**, s. 75 – 84. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.010>

FELLOWS, P.J. *Food Processing Technology: Principles and Practise*. Fifth Edition. Amsterdam: Elsevier, 2022, s. 483 – 504. Chapter 16 – Extrusion cooking. ISBN 978-0-323-98431-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98431-7>

FU, Zong-qiang et al. Studies on the starch-water interactions between partially gelatinized corn starch and water during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, January 2014, **101**, 727 – 732. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.098>

GAO, Zhiming et al. Hydrocolloid-food component interactions. *Food Hydrocolloids*, September 2016, **68**, 149 – 156. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.042>

GANJYAL, Girish M. *EXTRUSION COOKING. Cereal Grains Processing*. Second Edition. Amsterdam: Elsevier, 2020, s. 564. ISBN 9780128153611 Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02148-1>

GÓMEZ, Manuel et al. Influence of mixing on quality of gluten-free bread. *Journal of Food Quality*, November 2012, **36**, 139 – 145. ISSN 1745 – 4557 Dostupné z: [10.1111/jfq.12014](https://doi.org/10.1111/jfq.12014)

GRASSI de ALCANTARA, Rafael et al. Evaluation of wheat flour substitution type (corn, green banana and rice flour) and concentration and local dough properties during bread baking. *Food Chemistry*, October 2020, **326**, 126972. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126972>

GREER, E.N.; Steward, B.A. The water absorption of wheat flour: Relative effects of protein and starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1959, **10**(4), 248 – 252. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100409>

GULATI, Paridhi; Sandrayee BRAHMA a Devin J. ROSE. Chapter 13 – Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. In: GANJYAL, Girish M. *EXTRUSION COOKING. Cereal Grains Processing*. Second Edition. Amsterdam: Elsevier, 2020, s. 225 – 263. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00013-4> ISBN 978-0-12-815360-4

GUO, Lunan et al. Effect of glutathione on wheat dough properties and bread quality. *Journal of Cereal Science*, November 2020, **96**, 103116. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103116>

HAGHIGHAT-KHARAZI, Sepideh et al. Use of encapsulated maltogenic amylase in maltodextrins with different formulations in making gluten-free breads. *LWT*, August 2019, **110**, 182 – 189. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.076>

HONCŮ, I. et al. The effects of extrusion on the content and properties of dietary fibre components in various barely cultivars. *Journal of Cereal Science*, March 2016, **68**, 132 – 139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.01.012>

HORSTMANN, Stefan W. et al. Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Foods*, April 2017, **6**(4), 29. Dostupné z: [10.3390/foods6040029](https://doi.org/10.3390/foods6040029)

IZYDORCZYK, Marta S. a BILIADERIS, Costas G. Cereal arabinnoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 1995, **28**(1), 33 – 48. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00077-1)

JAYAPRAKASH, Gopipka et al. A Narrative Review on rice Proteins: Current Scenario and Food Industrial Application. *Polymers*, July 2022, **14**, 3003. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/polym14153003>

JUHÁSZ, Angéla et al. Developing gluten-free cereals and role of proteomics in product safety. *Journal of Cereal Science*, May 2020, **93**, 102932. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102932>

KAZEMZADEH, M. Chapter 9 – Baby foods. In GUY, R. *Extrusion cooking*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, s. 182 – 199. ISBN 0-8793-1207-8

KIM, Myeongseon et al. Particle size effect of rice flour in a rice-zein noodle system for gluten-free noodles slit from sheeted doughs. *Journal of Cereal Science*, March 2019, **86**, s. 48 – 53. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.006>

KIM, Ah-Na et al. Superheated steam pretreatment of rice flours: Gelatinization behaviour and functional properties during thermal treatment. *Food Bioscience*, June 2021, **41**, 101013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101013>

KUMARI, Neeraj; Ajinath DUKARE; Suraj PRAKASH; Niharika SHARMA; RADHA; Deepak CHANDRAN; Abhijit DEY; Jose M. LORENZO; Sangram DHUMAL and Manoj KUMAR. Green Extraction and Modification of Proteins From Traditional and Novel Sources. In: FERRANTI, Pasquale. *Sustainable food science: A comprehensive approach*. Amsterdam:Elsevier, 2023, s. 284 - 298.. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00088-3> ISBN 978-0-12-823960-5

LAUKOVÁ, Michaela et al. Laboratorní přístroje a pomůcky: Vplyv prídavku práškovej celulózy na termomechanické vlastnosti pšeničného cesta. *Chemické listy*, 2018, **112**, 34 – 37. Dostupné z: Zobrazit Vplyv prídavku práškovej celulózy na termomechanické vlastnosti pšeničného cesta (chemicke-listy.cz)

LIU, Rong et al. Development of a novel model dough based on mechanically activated cassava starch and gluten protein: Application in bread. *Food Chemistry*, December 2019, **300**, 125196. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125196>

MEGUSAR, Polona et al. Thermal and Rheological Properties of Gluten-Free, Starch-Based Model Systems Modified by Hydrocolloids. *Foods*, July 2022, **14**(6), s. 3242. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/polym1463242>

MOGHADDAM, Mozhdeh F. T. et al. Evaluation the effects of lactic bacteria and olive leaf extract on the quality of gluten-free bread. *Gene Reports*, 2020, **21**, 100771. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100771>

MONDAL, Arpita a A.K. DATTA. Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*, June 2008, **86**(4), 465 – 474. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2007.11.014>

MONTEAU, Jean-Yves et al. Water transfer in bread during staling: Physical phenomena and modelling. *Journal of Food Engineering*, October 2017, **211**, 95 – 103. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2017.04.016>

NAQASH, Farah at al. Gluten-free baking: Combating the challenges – A review. *Trends in Food Science and Technology*, **66**, 98 – 107. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>

OSZVALD, Maria; Ferenc, BÉKÉS & László, TAMÁS. Chapter 29 – Wheat Storage Proteins in Transgenic Rice Endosperm. In: WATSON, Ronald Ross &



Victor R., PREEDY. *Genetically Modified Organism in Food. Production, Safety Regulation and Public Health*. Amsterdam: Elsevier, 2016, s. 325 – 333. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-502259-7.00029-4> ISBN 978-0-12-802259-7

PAPAGEORGIU, M a A. SKENDI. Texture design of 'free-from' foods – The case of gluten-free. In: CHEN, Jianshe and Andrew ROSENTHAL. *Modifying Food Texture. Volume 2: Sensory Analysis, Consumer Requirements and Preference*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015, s. 239 – 268. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-334-8.00010-9> ISBN 978-1-78242-334-8

PARK, Jiyong a KIM, Hong-Sik. Rice-Based Gluten-Free Foods and Technologies: A Review. *Foods*, November 2023, **12**, 4110. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods12224110>

PIRSA, Sajad a Kosar HAFEZI. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, August 2022, **399**, 133967. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967>

PONGJARUVAT, Waranit et al. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food hydrocolloids*, May 2014, **36**, 143 – 150. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.004>

PREICHARDT, Leidi Daiana a M. A. GULARTE. Gluten formation: Its Sources, composition and health effects. May 2013. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/285526816>

QIN, Wanyu et al. Influence of particle size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. *LWT*, November 2021, **151**, 112236. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112236>

QIN, Wanyu et al. Influence of damaged starch on the properties of rice flour and quality attributes of gluten-free rice bread. *Journal of Cereal Science*, September 2021, **101**, 103296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jsc.2021.103296>

REN, Yi et al. A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis. *Food & Function*, May 2020, **11**, 5333 – 5345. Dostupné z: 10.1039/D0FO00115E

ROMAN, Laura et al. The effects of starch cross-linking, stabilization and pre-gelatinization at reducing gluten-free bread staling. *LWT*, October 2020, **132**, 109908. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109908>

RONDA, Felicidad; Sandra, PEREZ-QUIRCE; Marina VILLANUEVA. Chapter 12 – Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. In: AHMED, J. *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017, s. 297 – 334. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00012-7) ISBN 978-0-08-100431-9

RONDA, Felicidad; Sandra, PEREZ-QUIRCE; Marina, VILLANUEVA. Chapter 17 – Rheological properties of gluten-free bread doughs and their modification: improve bread quality. In: AHMED, Jasim & Santanu BASU *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Second Edition, Cambridge: Woodhead Publishing, 2023, s. 479 – 519. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00010-8) ISBN 978-0-12-823983-4

ROOS, Yrö H. *Phase Transitions in Foods*: 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Academic Press, 2016, s. 115 – 172. Chapter 5 – Food components and polymers. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408086-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408086-7.00005-X) ISBN 978-0-12-408086-7

ROSSEL, Christina M.; Mehran ALAMI a Akhavan MAHDAVI. Chapter 8 – Innovative Gluten-Free Products. In: POJIĆ, Milica a Uma TIWARI. *Innovative Processing Technologies for Healthy Grains*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd., 2021, s. 177 – 198. ISBN 9781119470212

SANTOS, Fernanda G. et al. The impact of dough hydration level on gluten-free bread quality: A case study with chickpea flour. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, September 2021, **26**, 100434. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100434>

SERNA-SALDIVAR, Sergio O.; Esther, PEREZ CARRILLO. Chapter 16 – Food Uses of Whole Corn and Dry-Milled Fractions. In: SERNA-SALDIVAR, Sergio O. Third Edition. *Corn: Chemistry and Technology*. Amsterdam: Elsevier, 2019, s. 435 – 467. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01986-1> ISBN 978-0-12-811971-6

ŠMÍDOVÁ, Zuzana a Jana RYSOVÁ. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*, February 2022, **11**, s.480. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods11030480>

TSATSARAGKOU, Kleopatra et al. Fermentation Kinetics of Gluten-Free Breads: The Effect of Carob Fraction and Water Content. *Foods*, April 2023, **12**, 1809. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods12091809>

TURBIN-ORGER, A. et al. Kinetics of bubble growth in wheat flour dough during proofing studied by computed X-ray micro-tomography. *Journal of Cereal Science*, November 2012, **56**(3), 676 – 683. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.008>

YAN, Wenjia et al. Effect of wheat bran arabinoxylan on the gelatinization and long-term retrogradation behaviour of wheat starch. *Carbohydrate Polymers*, September 2022, **291**, 119581. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119581>

YANG, Jingjing et al. Modification and Solubility Enhancement of Rice Protein and Its Application in Food Processing: A review. *Molecules*, May 2023, **28**, 4078. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules28104078>

WANG, Kun et al. Recent developments in gluten-free bread baking approaches: a review. *Food Science and Technology*, December 2017, **37**(1), 1 – 9. ISSN 0101-2061 Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.01417>

WANG, Hingwei et al. Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings. *Food Chemistry*, January 2019, **283**, 248-256. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.047>

WANG, Bin et al. Effects of different moisture contents on the structure and properties of corn starch during extrusion. *Food Chemistry*, January 2022, **368**, 130804. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130804>

WONGSA, Prinya and Nithiya RATTANAPANONE. Chapter six - Gas Chromatography and multivariate analysis for wheat flours. In: SHUKLA, Ashutosh Kumar. *Food Quality Analysis. Applications of Analytical Methods Coupled With Artificial Intelligence*. Amsterdam: Elsevier, 2023, s. 149 – 169.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95988-9.00008-4> ISBN 978-0-323-95988-9

XIAO, Meng et al. Unveiling the breadmaking transformation: Structural and functional insights into Arabinoxylan. *Carbohydrate Polymers*, April 2024, **330**, 121845. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121845>

ZAMBRANO, Yadira et al. Effect of Extrusion Temperature and Feed Moisture Content on the Microstructural Properties of Rice-Flour Pellets and Their Impact on the Expanded Product. *Foods*, January 2022, **11**, 198. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods11020198>

ZHAO, Fangfang et al. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread. *LWT*, December 2021, **152**, 112248. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112248>

ZHU, Xue-Feng et al. Impact of water soluble arabinoxylan on starch-gluten interactions in dough. *LWT*, December 2023, **173**, 114289. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114289>

ZIOBRO, Rafal et al. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, January 2016, **53**(1), 571 – 580. Dostupné z: [10.1007/s13197-015-2043-5](https://doi.org/10.1007/s13197-015-2043-5)

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

*Obr. 4.1: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky bez přídavku instantní rýžové kaše ..... 22*

*Obr. 4.2: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 10 % přídavkem instantní rýžové kaše ..... 22*

*Obr. 4.2: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 20 % přídavkem instantní rýžové kaše ..... 23*

*Obr. 4.2: Výška těst z hladké (vlevo) a polohrubé (vpravo) mouky s 30 % přídavkem instantní rýžové kaše ..... 24*

*Tab. 4.1 Reologické vlastnosti rýžových těst z hladké a polohrubé mouky ..... 25*

<i>Tab. 4.2 Termomechanické vlastnosti těst z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4.3: Výška a produkce kypřícího plynu v těstech z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4.4 Velikost pórů v rýžových těstech z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4.5 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na výšku a produkci kypřícího plynu v rýžových těstech z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 4.6 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na velikost pórů rýžových těst .....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 4.7 Reologické vlastnosti rýžových těst z hladké rýžové mouky .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4.8 Termomechanické vlastnosti rýžových těst z hladké mouky .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4.9 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na výšku a produkci kypřícího plynu těst z hladké i polohrubé .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4.10 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na velikost pórů těst z hladké i polohrubé mouky .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 4.11 Vliv přídavku instantní rýžové kaše na specifický objem, ztráty pečením a výtěžnost rýžového pečiva .....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 4.12 Vliv instantní rýžové kaše na texturní vlastnosti čerstvého a skladovaného pečiva .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4.13 Vliv instantní rýžové kaše na specifický objem, ztráty pečením a výtěžnost rýžového pečiva z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 4.14 Vliv instantní rýžové kaše na texturní vlastnosti čerstvého rýžového pečiva z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 4.15 Vliv instantní rýžové kaše na texturní vlastnosti skladovaného rýžového pečiva z hladké a polohrubé mouky .....</i>	<i>39</i>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ELA	Elasticita
PRU	Pružnost
SOU	Soudržnost
TVR	Tvrdost
ŽVÝ	Žvýkatelnost
$W_{Těsta}$	Vaznost vody moukou
$V_{Těsta}$	Doba vývinu těsta
$M_{Těsta}$	Stupeň měknutí těsta
$MTI_{Těsta}$	Odolnost těsta vůči intenzivnímu namáhání
$C_{max}$	Maximální konzistence těsta během kynutí
$W_{Vody}$	Absorpce těsta
B	Oslabení bílkovin
$\check{Z}_{\check{S}krobu}$	Maximální konzistence mazovatění
A	Minimální konzistence gelu během ohřevu
$R_{\check{S}krobu}$	Maximální konzistence retrogradace
SIM	Stabilita indexu míchání

## 10 SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Augustová, M., Burešová, I., Čuljak, R., Dabash, V. (2022): The influence of the addition of instant rice mash on the textural properties of rice bread. *Czech Journal of Food Sciences*, 40, 352 – 358.

Burešová, I., Červenka, L., Šebestíková, R., Augustová, M., Jarošová, A. (2023): Applicability of Flours from Pigmented and Glutinous Rice in Gluten-Free Bread Baking. *Foods*, 12 (6), 1324.

# 11 CURRICULUM VITAE

## Osobní údaje

Jméno, příjmení, titul: Ing. Monika Augustová, Ph.D.

Datum narození: 13. 12. 1992

Adresa: Moravičany 184, 789 82

email: m\_augustova@utb.cz

## Vzdělání

2018 – dosud doktorské studium, obor: **Technologie potravin (UTB ve Zlíně)**

2016 – 2018 magisterské studium, obor: **Technologie potravin**

2012 – 2016 bakalářské studium, obor: **Chemie a technologie potravin**

2008 – 2012 Střední průmyslová škola mlékárenská v Kroměříži

**Jazykové znalosti:** Anglický jazyk: Středně pokročilý (B1)

**Certifikáty:** Školení Interní auditor systému kritických bodů (HACCP); Školení Interní auditor systému řízení kvality dle standardu ISO 9001; Školení Požadavky normy IFS Food

## Řešené projekty

2018 **IGA/FT/2018/003** Role přídatných a jiných funkčních látek ve výrobě potravin (**spoluřešitel**)

2019 **IGA/FT/2019/006** Posouzení vlastností a kvality potravin v závislosti na vybraných faktorech (**spoluřešitel**)

2020 **IGA/FT/2020/006** Vliv vybraných faktorů na vlastnosti a kvalitu potravin (**spoluřešitel**)

2021 **IGA/FT/2021/003** Využitelnost empirických metod hodnocení kvality pšeničné mouky, těsta a pečiva na hodnocení technologické kvality bezpečnostních a netradičních pšeničných mouk (**spoluřešitel**)

Ing. Monika Augustová, Ph.D.

## **Využitelnost rýžové kaše při výrobě bezlepkového pečiva**

Applicability of rice mash in the production of gluten-free bread

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou

Rok vydání 2024

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-255-6